

**OBTENCIÓN DE MORTEROS PIGMENTADOS A BASE DE ÓXIDOS DE
HIERRO NATURALES**

ISAÍAS JOSÉ ROMERO MORALES

ANDREÍNA ROCHA CÁRCAMO



UNIVERSIDAD DE LA COSTA – CUC

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

BARRANQUILLA – ATLÁNTICO

AGOSTO 2019

**OBTENCIÓN DE MORTEROS PIGMENTADOS A BASE DE ÓXIDOS DE
HIERRO NATURALES**

ISAÍAS JOSÉ ROMERO MORALES

ANDREÍNA ROCHA CÁRCAMO

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA
ADOPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL**

Director

Dra. Heidis Cano Cuadro

Codirector

Dra. Malka Mora Cárdenas

UNIVERSIDAD DE LA COSTA – CUC

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

BARRANQUILLA – ATLÁNTICO

AGOSTO 2019

Nota de aceptación

Presidente de Jurado

Jurado

Jurado

Barranquilla, _____

*La verdadera belleza de las cosas
existe en el espíritu de quien las contempla.*

David Hume

Dedicatoria

En este día se cumple un sueño que inició cuando era niño; una de mis grandes aspiraciones, por eso doy gracias a Dios por darme fuerzas durante todos estos años; en especial a mis padres Gustavo Romero Ruiz y Rita Morales Hernández que me brindaron su apoyo incondicional y confiaron en mí, ya que con sus enseñanzas y apoyo contribuyeron para finalizar satisfactoriamente mi carrera.

A mi hermana Rosana Margarita Romero Morales por ayudarme e impulsarme no solo en la realización del presente trabajo, sino a lo largo de mi crecimiento personal, siendo testigo a su vez, de los conocimientos aportados por profesores, amigos y profesionales conocidos en mi etapa universitaria, quienes también aportaron para darle fin de manera satisfactoria a todo mi proceso, preparándome y encaminándome a vivir una próxima etapa como profesional, de manera justa y digna.

Isaías Romero Morales

En este día se cumple mi más grande aspiración, por eso doy gracias a Dios por darme la sabiduría necesaria todo este tiempo de lucha por mi carrera; en especial a mis padres Walter Rocha Escobar y Juana Cárcamo Florián que fueron un pilar fundamental en mi formación con cada una de sus enseñanzas.

A cada persona que aportó su granito de arena en este proyecto de vida y me impulsaron a luchar por mis objetivos, terminando esta etapa como un profesional idóneo para la sociedad.

Andreina Rocha Cárcamo

Agradecimientos

¡Gracias Dios!

A mis padres, mis tutoras Dra. Heidis Patricia Cano Cuadro y Dra. Malka Mora Cardenas por guiarme y brindarme su conocimiento y apoyo incondicional para así crecer como persona y profesional.

A la empresa CONCRELAB S.A.S por permitir desarrollar este proyecto en sus instalaciones.

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron para la realización del presente trabajo.

Resumen

La utilización de pigmentos hoy día es de gran importancia en el ámbito de la construcción dada la diversidad cultural de la población que exige distintos gustos, colores, apariencias, etc., de los materiales. En esta investigación se evalúa la resistencia a compresión de morteros con pigmentos tradicionales y con óxidos de hierro naturales, donde se evidencia que la adición de óxido de hierro natural no produce ninguna alteración en el parámetro de resistencia del mortero, en comparación con el mortero tradicional y con un mortero con pigmento sintético, sin embargo en este último se denota una variación en el 3er día de curado y una disminución en el 7 día respecto a su resistencia. El análisis por DRX nos muestra las fases presentes en P1 (Pigmento de óxido de hierro natural) evidenciando en mayor proporción la fase de Magnetita con un porcentaje del 53.8 % seguido de Monetite con 26.7 % y Hedenbergite-Jadeite con 19.3 %, presentando en menor proporción la fase de Halite potassian con 0.2% , a diferencia de la muestra P2 (pigmento sintético), la cual cuenta con las fases de Magnetita en mayor proporción con un porcentaje de 37.9% , seguido de Hematite con 25.6% , Quartz low con 14.6 %, Goethite con 11.2 %, Annite con 7.4% y en su menor porcentaje Birnessite, sodian con 3.4%.

Palabras clave: Resistencia a la compresión, morteros, pigmento, herrumbre, DRX

Abstract

The use of rust residues is of great importance in the field of construction, which is why one of the aspects to be taken into account in pigment mortars is durability, which can be affected by the environment where the product is applied. In this investigation, the compressive strength of mortars with traditional pigments and with natural iron oxides is evaluated, where it is evident that the addition of natural iron oxide does not cause any alteration in the mortar resistance parameter, compared to the parameter of resistance of the traditional mortar with synthetic pigment where a variation is observed in the 3rd day of curing and a decrease in the 7 day with respect to its resistance. The analysis by DRX shows us the phases present in P1 (Pigment of natural iron oxide) showing in greater proportion the Magnetite phase with a percentage of 53.8% followed by Monetite with 26.7% and Hedenbergite-Jadeite with 19.3%, presenting in smaller proportion the Halite potassian phase with 0.2%, unlike the P2 sample (synthetic pigment), which has the Magnetite phases in a greater proportion with a percentage of 37.9%, followed by Hematite with 25.6%, Quartz low with 14.6 %, Goethite with 11.2%, Annite with 7.4% and in its lowest percentage Birnessite, sodian with 3.4%.

Keywords: Compressive strength, mortars, pigment, rust, DRX

Contenido

	Lista de tablas y figuras.....	11
1.	Introducción.....	15
2.	Objetivos.....	18
2.1	Objetivo general.....	18
2.2	Objetivos específicos.....	18
3.	Marco referencial.....	19
3.1	Marco teórico.....	19
3.1.1.	Mortero.....	19
3.1.2.	Tipos de mortero.....	20
3.1.3.	Características principales de poseen los morteros.....	21
3.1.3.1	Máxima y/o mínima fluidez.....	21
3.1.3.2	Retención mínima de agua.....	21
3.1.3.3	Contenido mínimo de aire incluido.....	21
3.1.3.4	Resistencia a la compresión y/o flexiones mínimas.....	21
3.1.3.5	Resistencia mínima de sobre diseño.....	22
3.1.4.	Morteros para mampostería.....	22
3.1.4.1	Clasificación de los morteros de mampostería.....	22
3.1.5.	Propiedades de los morteros en estado endurecido.....	25
3.1.6.	Propiedades de los morteros en estado plástico.....	27
3.1.7.	Granulometría recomendada para las arenas de morteros de pega y de relleno.....	28
3.1.8.	Control de calidad de los morteros de pega.....	29
3.1.9.	Componentes de un mortero.....	30

3.1.9.1	Cemento.....	30
3.1.9.2	Agua.....	31
3.2.	Pigmentos.....	33
3.2.1.	Tipos de pigmentos.....	34
3.2.2.	Características de los pigmentos	36
3.2.3.	Aspectos que influyen en la coloración.....	37
3.2.4.	Presentación del Pigmento.....	40
3.2.4.1.	Líquido, slurry, Pasta o suspensión acuosa.....	40
3.2.4.2.	Granulado.....	40
3.2.5.	Ventajas y Propiedades de los Pigmentos.....	40
3.3.	Técnicas de caracterización.....	42
3.3.1.	Ensayo de compresión.....	42
3.3.2.	Difracción de Rayos X.....	43
3.4	Estado del arte.....	44
4.	Parte experimental.....	47
4.1	Ensayo granulométrico.....	47
4.2	Diseño de mortero.....	49
4.2.1.	Contenido de cemento.....	50
4.2.2	Contenido de agua.....	51
4.2.3	Contenido de arena.....	53
4.3	Diseño de morteros con adición de pigmento.....	56
4.3.1	Pigmento.....	56
4.3.2	Determinación de las proporciones de pigmento a adicionar al mortero.....	58
4.3.2.1	Cantidad de pigmento a adicionar.....	58

4.3.3.	Determinación de la compresión.....	59
4.3.4.	Difracción de rayos X (DRX).....	60
5.	Resultados y discusión.....	61
5.1	Evaluación de la resistencia a la compresión del mortero sin adición de pigmento.....	66
5.2	Evaluación de los porcentajes de un mortero con una adición del 5% de óxido de hierro natural.....	68
5.3	Evaluación de los porcentajes de un mortero con una adición del 5% de pigmento sintético.....	69
5.4	Evaluación de lo % resistencia Vs días para un mortero con una adición del 5% de pigmento “Óxido de hierro natural” Vs Pigmento Sintético.....	71
6.	Conclusiones.....	73
7.	Recomendaciones.....	74
8.	Referencias.....	75
9.	Anexo.....	78

Lista de Tablas y Figuras

Tablas

Tabla 1:	Especificación por propiedades, para morteros de cemento y cal, preparados en laboratorio.....	23
Tabla 2:	Especificación por proporciones, para morteros de cemento y cal.....	24
Tabla 3:	Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación.....	28
Tabla 4:	Especificación granulométrica de arenas para morteros de pega y de relleno.....	29
Tabla 5:	Límites mayores del contenido de sustancias - agua potable.....	32
Tabla 6:	Límites máximos de sustancias en aguas no potables.....	32
Tabla 7:	Composición química de algunos pigmentos más comunes.....	36
Tabla 8:	Granulometría de los agregados. Norma Técnica Colombiana.	47
Tabla 9:	Resultados obtenidos en el ensayo granulométrico.....	48
Tabla 10:	Módulo de finura.	49
Tabla 11:	Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación.....	50
Tabla 12:	Características del cemento.....	51
Tabla 13:	Resultados obtenidos de la arena.....	53
Tabla 14:	Proporciones por metro cúbico de los componentes del mortero.....	55
Tabla 15:	Proporciones por bulto de cemento de 50 Kg.....	55
Tabla 16:	Granulometría pigmento de un óxido de hierro natural.....	57
Tabla 17:	Fases presentes en M1 (Pigmento óxido de hierro natural).....	62
Tabla 18:	Fases presentes en P2 (Pigmento Sintético).....	64

Tabla 19:	Resistencia a la compresión de morteros sin adición de pigmento	67
Tabla 20:	Resistencia a la compresión de morteros con una adición del 5% de óxido de hierro natural.....	68
Tabla 21:	Resistencia a la compresión de morteros con una adición del 5% de pigmento mineral.....	70

Figuras

Figura 1:	Pintura rupestre del norte de África realizada a base de óxidos de hierro y ligantes de origen natural.....	35
Figura 2:	Pigmento sintético frente al natural.....	35
Figura 3:	Probetas de hormigón sin pigmentar.....	38
Figura 4:	Probetas pigmentadas al 3% con amarillo ChromaFer 9520.....	38
Figura 5:	Superficie lisa de un revestimiento de mortero y la misma superficie en acabado- raspado.....	39
Figura 6:	Hormigón tratado con inhibidor de fraguado.....	39
Figura 7:	Esquema curva granulométrica.....	49
Figura 8:	Relación agua-cemento.....	52
Figura 9:	Esquema del pigmento sintético “Mineral café de Mola“.....	56
Figura 10:	Esquema del pigmento óxido de hierro.....	57
Figura 11:	Esquema de la cantidad de cemento y pigmento.....	59
Figura 12:	Esquema del espécimen en la máquina de compresión.....	60
Figura 13:	Esquema de los especímenes de morteros.....	62
Figura 14:	Gráfica de picos y proporciones de las fases presentes en el pigmento óxido de hierro natural. P1.....	64
Figura 15:	Gráfica de picos y proporciones de las fases presentes en el pigmento sintético P2.....	66
Figura 16:	Gráfica del % Resistencia vs días para morteros sin adición de pigmento...	67
Figura 17:	Gráfica del % Resistencia vs días para morteros con adición de óxido de hierro vs adición de pigmento sintético.....	69

- Figura 18: Gráfica del % Resistencia vs días para morteros con adición de óxido de hierro vs adición de pigmento sintético..... 71
- Figura 19: Gráfica del % Resistencia vs variación de la resistencia a la compresión de los morteros preparados..... 72

1. Introducción

Los efectos de la corrosión y carbonatación en la vida diaria se vuelven tan normales y cotidianos que ya no les damos importancia, los altos costo que implica el mantenimiento y reposición de las infraestructuras dañadas ha conllevado a la creación de métodos que mitiguen dichos fenómenos. En Colombia las perdidas por corrosión equivalen a unos 26.000 millones de pesos anuales, mientras que según un estudio realizado por NaCE Internacional y el gobierno de los Estados Unidos de América en ese país se alcanzan cifras cercanas al 4% del PIB, incluyendo costos directos e indirectos. (CIENCIA & TECNOLOGIA (2015)). Es cierto afirmar que la responsabilidad de los mantenimientos les corresponde a las autoridades; la búsqueda y aplicación de métodos y procedimientos que minimicen dichos costos y que alarguen la vida útil de las estructuras, pero también el ciudadano común debe preocuparse por cuidar el patrimonio familiar adoptando una filosofía de protección anticorrosiva de los equipos y herramientas que utiliza en casa o que emplea en su trabajo. (Ramírez, Pereyra, García, Valencia y Juárez .2011). Los costos por corrosión son difíciles de calcular, pero abundan pruebas que muestran que son tan altos que usualmente impactan a todos los sectores de la sociedad, desde el patrimonio familiar hasta la infraestructura productiva que mantiene la economía de cualquier país (Jose Luis Ramirez, 2011). El combate contra el fenómeno de la corrosión requiere de diversos tratamientos o métodos de protección entre los cuales se pueden destacar la galvanización, recubrimientos anticorrosivos, pinturas, etc., los cuales también tienen un costo, pero nos ayudan a proteger la estructura de este fenómeno y alargar su vida útil, trayendo consigo un ahorro a mediano o largo plazo

La cantidad de pinturas anticorrosivas encontradas en el mercado y los pigmentos sintetizados usados para la fabricación de estas es alta, la variedad de colores que nos brinda el mercado también influye en su costo, ya que se pueden encontrar pigmentos desde \$ 35.900 y más; los cuales varían según su calidad, tipo, marca, etc. Los pigmentos para

colorear las mezclas u hormigones a la vista, pueden ser líquidos o en polvo, pueden tener distintas concentraciones y en ocasiones pueden mejorar otras propiedades mecánicas.

El color, de una forma u otra, siempre estuvo presente en la construcción. Los proyectistas utilizaron, desde los tiempos más lejanos, el color como elemento esencial que conferían a sus creaciones un valor estético especial. El Palacio de Knosos, la Catedral de Santa Sofía, Notre Dame de Paris, o la Mezquita de Córdoba son ejemplos donde la presencia del color enriqueció su belleza arquitectónica. (Carvalho F., 2002)

En la actualidad, se ha logrado introducir en el mercado una nueva forma de utilizar el concreto, de esta manera se aprovechan las propiedades de este material, sin realizar una gran inversión económica en la parte estética. Así mismo, el uso de morteros coloreados se hace más popular entre los ingenieros y arquitectos para aplicaciones tales como fachadas, aceras, caminos de entrada, suelos y otros usos arquitectónicos. Sin embargo, los colorantes y pigmentos están comenzando a ser considerados en el país como compuestos que pueden presentar características toxicológicas más allá de los aspectos estéticos; en las aguas residuales se evidencia la influencia de las variables como el pH, la concentración inicial y la solubilidad, entre otras, sobre las formas de remoción de colorantes específicos (Barrios, Gaviria, Agudelo, & Consuegra, 2015).

Diversas investigaciones, han establecido que la industria del cemento afecta en gran medida al medio ambiente, es por eso que la implementación de materiales que contribuyan a disminuir los impactos ambientales se han desarrollado en tal instancia con el fin de utilizar materiales de tipo reciclado.

La utilización de residuos de herrumbres es de gran importancia en el ámbito de la construcción, así como la utilización de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

como agregados para concreto que contribuye a una de las grandes ideas innovadoras de las últimas décadas, mitigan un daño ambiental y traen consigo un desarrollo sostenible.

Sin embargo, la durabilidad de los morteros pigmentados puede verse afectada por el ambiente donde se aplica el producto y su elevado costo limita su utilización para la reparación y rehabilitación de estructuras. (Leòn Consuegra & Torres Fuentes, 2012).

A pesar de que se crean metodologías para la utilización de materiales que conlleven a un menor impacto negativo en el medio ambiente, existirán otros factores que impidan que las industrias utilicen materiales, que reduzcan los daños, sin embargo, y no dejando a un lado el compromiso del cuidado ambiental, se busca probar, garantizar y también sustentar de qué forma la obtención de morteros pigmentados dentro de un marco de posibilidades a favor de la sostenibilidad. Es por eso que de moldear cada uno de los detalles constructivos en obra de una forma fácil y funcional se pretende con esta investigación contribuir a ello mediante un análisis del comportamiento de la resistencia a la compresión de morteros pigmentados con óxidos de hierro natural y pigmentos sintéticos, no sin antes realizar una caracterización por difracción de rayos x (DRX) de estos, resaltando las propiedades en los cuales infieran la determinación de la calidad de un mortero, al dar una mejor resistencia, con la utilización de pigmentos de colores y así mismo la reducción de costos y aporte al medio ambiente.

Con la finalidad de mitigar el impacto ambiental y aprovechar cada una de las propiedades de un material por medio de la implementación de nuevas adiciones de productos en la naturaleza, surge el siguiente interrogante.

¿Teniendo en cuenta las propiedades mecánicas de los morteros pigmentados a base de óxidos de hierro naturales, se podría considerar su implementación como un remplazo viable a los ya tradicionales morteros con pigmentos comerciales?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento mecánico de los morteros pigmentados con óxido de hierro natural.

2.2. Objetivos específicos:

- Caracterizar el óxido de hierro natural mediante difracción de rayos X.
- Fabricar morteros con una concentración del 5% de pigmento de un óxido de hierro natural y un pigmento sintético.
- Analizar la variación de la resistencia a la compresión de los morteros pigmentados con óxido de hierro natural y un pigmento sintético, comparándolo con respecto a un mortero tradicional.

3. Marco Referencial

3.1 Marco teórico

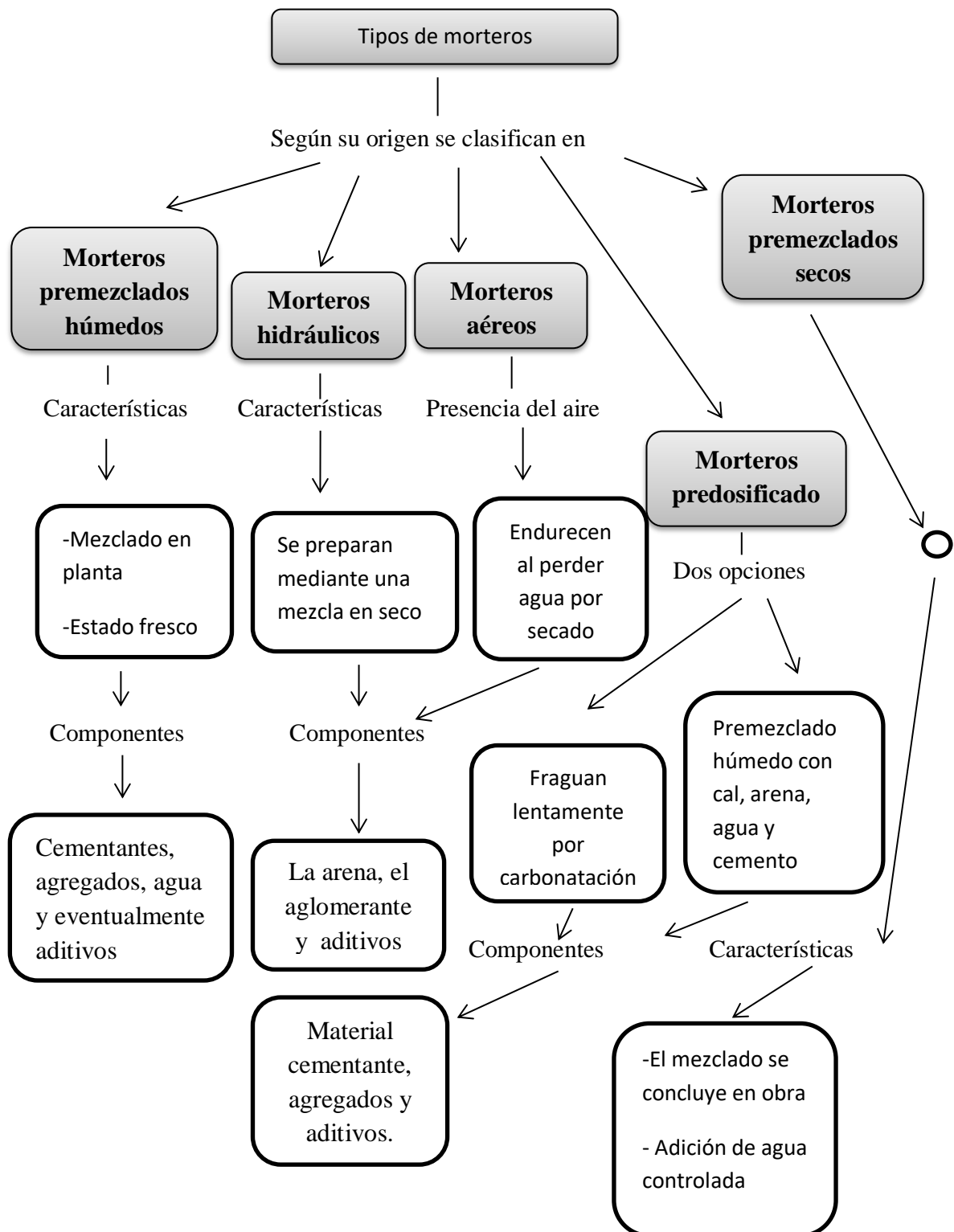
3.1.1 Mortero

En su definición más general el mortero es toda mezcla de cemento, arena y agua (Salamanca Correa, 2001) que sirve para unir las piedras o ladrillos que integran las obras de fábrica y para revestirlos como enlucidos o revoques; estos se denominan según sea el aglomerante de yeso, cal y cemento, llamándosele bastardos cuando intervienen dos aglomerantes como la cal y el yeso (Leòn Consuegra & Torres Fuentes, 2012).

La historia registra que los morteros de yeso quemado y arena se utilizaban en Egipto por lo menos desde 2690 A.C. Luego en la Grecia y Roma antiguas, se fabricaron morteros a partir de diversos materiales como cal quemada, toba volcánica y arena. Cuando aparecieron los primeros inmigrantes en Norte América, todavía se fabricaba un producto relativamente débil a partir de cal y arena. El uso común del cemento Portland como constituyente del mortero comenzó a principios del siglo XX, lo cual llevó a un mortero mucho más resistente cuando solamente se usaba cemento Portland o se combinaba este con cal. En la actualidad, el mortero aún se fábrica de cemento Portland y cal hidratada, o de cemento de mampostería (NTC 3329).

Los pañetes, por ejemplo, no poseen función estructural; los morteros usados en mampostería (pega o relleno), o los usados para fundir elementos estructurales, sí poseen tal función (Salamanca Correa, 2001).

3.1.2 Tipos de morteros



3.1.3. Características principales de poseen los morteros

3.1.3.1. Máxima y/o mínima fluidez

El mortero puede adaptarse a cualquier superficie, volumen, o forma; por motivo que no requiere dimensione este ofrece la posibilidad de adaptar sus propiedades a las exigencias que se deseen conforme a la composición y dosificación precisas (Mora, 2003).

3.1.3.2. Retención mínima de agua

Un mortero tiende a conservar el agua precisa para hidratar la superficie de las partículas del conglomerante y del árido, así como las burbujas de aire ocluido (Mora, 2003).

3.1.3.3. Contenido mínimo de aire incluido

Para dar adecuada durabilidad en ciertos climas, es decir, por medio del aire se crea unas pequeñas burbujas que son muy beneficiosas debido a su forma esférica y flexible que actúan como lubricante del mortero en estado fresco, mejorando la docilidad. Interrumpen la red capilar de la masa del mortero, impidiendo la penetración de agua y productos de hidratación del cemento, protegiendo la masa del efecto de las heladas. Al incluir aire, disminuye la densidad aparente del mortero fresco, lo cual, unido a lo anterior, tiende a evitar la segregación y exudación del mortero en estado fresco (Mora, 2003).

3.1.3.4. Resistencia a la compresión y/o flexiones mínimas

Necesarias, por consideraciones estructurales se obtienen conforme a los resultados del ensayo de probetas prismáticas de 40x40x160 mm de 28 días, conservadas en laboratorio según condiciones normalizadas (Mora, 2003).

3.1.3.5. Resistencia mínima sobre diseño

- Máxima relación agua - cemento – y/o contenido mínimo de cemento.
- Máximo contenido de cemento: para evitar agrietamiento por exceso de temperatura se recomienda en zonas continuamente expuestas a elevadas temperaturas el uso de morteros aislantes o refractarios (Mora, 2003).

3.1.4 Morteros para mampostería

En un muro de mampostería el mortero representa entre un 10 y 20% del volumen total del material; no obstante, su efecto en el comportamiento de la pared es mucho mayor de lo que indica tal porcentaje. Sus funciones son:

- Función estética: dar acabado al muro, colorido, textura, etc.
- Función estructural.
- Liga las unidades de mampostería.
- Sello para impedir penetración de aire y de agua.
- Se adhiere al refuerzo de las juntas, a los amarres metálicos y a pernos anclados, de modo que los hace actuar conjuntamente.
- De ser mampostería reforzada envuelve, protege y actúa en unión de la armadura embebida.

3.1.4.1 Clasificación de los morteros de mampostería

De acuerdo con la norma (ASTM C270) los morteros se clasifican, bien por sus propiedades, o por sus proporciones. Toda especificación debe hacerse por una sola categoría de las indicadas, pero no por ambas (son excluyentes).

La especificación por propiedades (resistencia a la compresión, retención de agua y contenido de aire), adquiere sentido para efectos de diseño con base en pruebas de laboratorio, mas no para morteros mezclados en obra. Se asume que las proporciones establecidas en laboratorio son las que se emplearán al mezclar en obra, esperándose del producto un comportamiento satisfactorio. En la Tabla 1 se muestra tal clasificación, referida a los morteros de cemento y cal, evidenciando posteriormente la especificación por propiedades, para morteros de cemento y cal.

Tabla 1.

Especificación por propiedades, para morteros de cemento y cal, preparados en laboratorio.

Tipo de mortero	Resistencia mínima a la compresión a 28 días, kg/cm ² (Mpa)	Retención mínima de agua %	Contenido máximo de aire	Relación de agregados (medida en condición húmeda y suelta)
M	175 (17.0)	75	12	No menor que 2,25 y no mayor que 3,5 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes
S	125 (12.5)	75	12	
N	50 (5.0)	75	14-	
O	25 (2.5)	75	14-	

Nota: Fuente: Elaboración de (Salamanca Correa, 2001).

Las especificaciones por proporciones se basan en el conocimiento previo de los pesos unitarios de los materiales componentes del mortero; en la Tabla 2 se muestra tal clasificación para los morteros de cemento y cal (Salamanca Correa, 2001).

En la práctica lo recomendable es especificar el mortero con la resistencia más baja, que se ajuste a los requisitos del trabajo. Es importante anotar además que:

- Cuando se especifique un mortero de resistencia baja, este no puede ser suplantado indiscriminadamente por otro de mayor resistencia.

- No se deben cambiar las proporciones del mortero premezclado diseñado para una obra en particular, ni utilizar materiales con características físicas distintas en la mezcla, a salvo que se restituya su conformidad con las obligaciones de la norma.

(Salamanca Correa, 2001)

Tabla 2.

Especificaciones por proporciones, para morteros de cemento y cal.

Tipo de Mortero	Proporciones por volumen materiales cementantes)		Relación de agregados (medida en condición húmeda y suelta)
	Cementos Portland o Portland Adicionado	Cal hidratada o apagada	
M	1	0,25	No menor que 2,25 y no
S	1	0,25 a 0,50	mayor que 3,5 veces la suma
N	1	0,50 a 1,25	de los volúmenes separados
O	1	1,25 a 2,50	de materiales cementantes

Nota: Fuente: Elaboración de (Salamanca Correa, 2001).

a) Mortero tipo 'M'

Es una mezcla de alta resistencia, brinda más durabilidad a diferencia de otros morteros. Se recomienda para mampostería reforzada y/o sin refuerzo, pero sometida a grandes cargas de compresión para cuando se presenta congelamiento, altas cargas laterales de tierra, vientos fuertes y temblores. Se debe emplear en estructuras en contacto con el suelo: muros de contención, cimentaciones, aceras, pozos, tuberías de aguas negras etc.

(Salamanca Correa, 2001)

b) Mortero tipo 'S'

Es un mortero que logra la más alta característica de adherencia que un mortero puede lograr. Debe utilizarse para las estructuras sometidas a cargas de compresión normales, pero que demanden a la vez de una alta característica de adherencia, debe usarse en aquellos casos en los que el mortero es el único agente de adherencia con la pared, como en el caso de revestimientos cerámicos, baldosines de barro cocido, etc (Salamanca Correa, 2001).

c) Mortero tipo 'N'

Es un mortero de propósito general, para ser utilizado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo. Es bueno en enchapes de mampostería, paredes internas y divisiones. Representa la mejor combinación (Salamanca Correa, 2001).

d) Mortero tipo 'O'

Es un mortero de baja resistencia y con un alto contenido de cal, puede usarse en paredes y divisiones sin carga o para revestimientos exteriores que no estén sometidos a congelamiento, aun cuando puedan estar húmedos. Son usuales en construcciones de vivienda de uno o dos pisos, por su excelente trabajabilidad y bajo costo, son morteros preferidos por los albañiles (Salamanca Correa, 2001).

3.1.5. Propiedades de los morteros en estado endurecido**➤ Retracción**

Se debe principalmente a reacciones químicas y a la relación de agua cemento, una de las consecuencias de la retracción es el aumento de volumen y los agrietamientos. La arena de textura rugosa es una solución a esta problemática ya que forma un esqueleto que evita los cambios de volumen y el peligro de agrietamiento. (De Guzman Sanchez, 2001)

➤ **Adherencia**

Es la capacidad que tiene el mortero de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero con la estructura; es decir, a la capacidad que tiene un mortero de resistir pandeo y cargas transversales. En el caso de la mampostería, para obtener una buena adherencia es necesario que la superficie sobre la que se va a colocar el mortero sea lo más rugosa posible y tenga una absorción adecuada y comparable con la mezcla del mortero ((De Guzman Sanchez, 2001).

➤ **Resistencia**

Si el mortero es utilizado como pega, debe proporcionar una unión resistente. Si el mortero va a ser utilizado para soportar cargas altas y sucesos, tal es el caso de la mampostería estructural, debe poseer una alta resistencia a la compresión. Para diseñar morteros de alta resistencia se debe tener en cuenta que para un mismo cemento y un mismo tipo de agregado fino, el mortero más resistente y más impermeable será aquel que contenga mayor contenido de cemento para un volumen dado de mortero; y que para un mismo contenido de cemento en un volumen determinado de mortero el más resistente y probablemente el más impermeable será aquel mortero que presente mayor densidad, o sea aquel que en la unidad de volumen contenga el mayor porcentaje de materiales sólidos.

El tamaño de los granos de la arena juega un papel importante en la resistencia del mortero; un mortero hecho con arena fina será menos denso que un mortero hecho con arena gruesa para un mismo contenido de cemento. Por último, el contenido de agua del mortero tiene influencia sobre su resistencia; los morteros secos dan mayor resistencia que los morteros húmedos, porque pueden ser más densamente compactados (López, 2003).

➤ **Durabilidad**

Al igual que en el concreto, la durabilidad del mortero son agentes externos como: baja temperatura, penetración de agua, desgaste por abrasión, retracción al secado y agentes corrosivos. Se considera que los morteros de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad (De Guzman Sanchez, 2001).

➤ **Apariencia**

La apariencia del mortero después de fraguado juega un importante papel en las mamposterías de ladrillo a la vista; para lograr una buena apariencia es necesario aplicar morteros de buena plasticidad (López, 2003).

3.1.6. Propiedades de los morteros en estado plástico

➤ **Manejabilidad**

Capacidad de la mezcla de dejarse manipular en estado plástico, dependen de las concentraciones de cemento, arena, forma y textura de dicha mezcla. Para medir la manejabilidad del mortero se usa el ensayo de fluidez descrito en la Norma NTC No. 111, En la Tabla 3 se recomienda una manejabilidad para diferentes tipos de mortero de acuerdo con los tipos de construcción y a los sistemas de colocación (Flórez, 2003).

➤ **Retención de agua**

Se refiere a la capacidad del mortero de mantener su plasticidad cuando queda en contacto con la superficie sobre la que va a ser colocado, por ejemplo, un ladrillo. Para mejorar la retención de agua se puede agregar cal, o aumentar el contenido de finos en la arena, o emplear aditivos plastificantes o incorporadores de aire. La retención de agua influye en la velocidad de endurecimiento y en la resistencia final, pues un mortero que no retenga el agua no permite la hidratación del cemento (Flórez, 2003).

➤ Velocidad de endurecimiento

Los tiempos de fraguado final e inicial de un mortero están entre 2 y 24 horas (Flórez, 2003). Sin embargo, muchos factores afectan el tiempo fraguado: la composición de dicha mezcla y las condiciones climáticas.

Tabla 3.

Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación.

Consistencia	Fluidez %	Condición de Colocación	Ejemplo de tipos de Estructura	Ejemplo de Sistema de Colocación
Dura(seca)	80-100	Selecciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías pantallas de cimentaciones, pisos.	Manual
Media (plástica)	100-120	Sin vibraciones	Pega de mampostería baldosines, pañetes y revestimiento.	Manual, con palas palustres
Fluida (húmeda)	120-150	Sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería baldosines, estructura, mortero, autonivelantes para pisos.	Manual, bombeo inyección.

Nota: Fuente: (Flórez, 2003.)

3.1.7. Granulometría recomendada para las arenas de morteros de pega y de relleno

Por normatividad es recomendable un uso granulométrico que depende de qué tipo de arena es, natural o de trituración, como se presenta en la Tabla 4 (De Guzman Sanchez, 2001).

Además, se deben considerar otros parámetros de importancia descritos así:

1. La arena no debe tener más del 50% retenido entre dos tamices consecutivos, ni más del 25% retenido en el tamiz de 0,15 mm (No. 100) y que pase del tamiz de 0,30 mm (No. 50).
2. Si el módulo de finura varía en más de 0,20 del valor asumido para escoger las proporciones del mortero, la arena debe rechazarse a menos que se modifiquen las proporciones de la mezcla para compensar el cambio.
3. Cuando la junta tenga más de 10 mm de espesor, es conveniente usar arenas más gruesas.
4. Cuando las juntas sean muy delgadas se usan arenas que pasan totalmente el tamiz de 2,4 mm (No. 8) y 95% el tamiz de 1,2 mm (No. 16). (De Guzman Sanchez, 2001)

Tabla 4.

Especificación granulométrica de arenas para morteros de pega y de relleno.

% Que pasa el tamiz mm (No.)	Arena natural	Arena de trituración	Arena para concreto
4,8 (No. 4)	100	100	95-100
2,4 (No. 8)	95-100	95-100	80-100
1,2 (No. 16)	70-100	70-100	50-85
0,6 (No. 30)	40-75	40-75	25-60
0,3 (No. 50)	10-35	20-40	10-30
0,15 (No. 100)	2-15	10-25	2-10
0,75 (No. 200)	0.0	0-10	-----
Módulo de finura	2,83-1,75	2,65-1,60	3,38-2,15

Nota; Fuente: Elaboración de (De Guzman Sanchez, 2001).

3.1.8 Control de calidad de los morteros de pega

a) Resistencia a compresión:

Se controla mediante la elaboración de cubos de mortero de 5 cm de arista, o de cilindros de 7,5 cm (3") de diámetro y 15 cm (6") de altura; o de cilindros de 10 cm (4") de

diámetro y 20 cm (8") de altura. El uso de los cubos, siendo un procedimiento dispendioso y de cuidado, más apropiado para laboratorio, no es recomendable en obra. Es preferible el uso de cilindros, fundidos en tres capas, 25 golpes, varilla redondeada de 9,5 mm, mazo de caucho, etc.; los ensayos usuales son a 7 y 28 días de edad (Salamanca Correa, 2001).

b) Ensayo de retención de agua:

Es un ensayo mediante el cual una muestra de mortero se somete a succión mediante un aparato que, permite aplicar vacío de 50,8 mm de mercurio durante 60 segundos, de acuerdo con la Norma (ASTM C916). El valor del flujo obtenido después de este tratamiento, expresado como porcentaje del flujo medido antes de la succión, es la capacidad de retención de agua del mortero (Salamanca Correa, 2001).

3.1.9. Componentes de un mortero

3.1.9.1 Cemento

El cemento representa parte de los materiales de construcción básicos hoy día y, probablemente, siga siéndolo a lo largo de muchos años. Es el principal componente de otro de los productos con más influencia dentro de este sector, como lo es el mortero.

El cemento posee propiedades de adherencia y cohesión que proveen a su vez la resistencia a la compresión, además de ello con adición de agua forma una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire.

El tipo de cemento principalmente utilizado para la fabricación de concreto es el cemento de tipo hidráulico y el más famoso de ellos es el cemento Portland.

➤ **Cemento hidráulico**

Cemento que fragua y endurece por la interacción química con el agua, tanto al aire como bajo agua, a causa de las reacciones de hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables (Quiroz & Salamanca, 2006).

➤ **Cemento Portland**

Es el producto que se obtiene de la pulverización del Clinker Portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio, este admite la adición de otros productos siempre y cuando no afecte las propiedades del cemento resultante ((NTC), s. f.).

A pesar de las definiciones que se tienen del cemento algunas fuentes afirman que el proceso de fabricación del cemento y por ende sus componentes han cambiado a lo largo de la historia; (Porrero, Ramos, Grases, & Velazco, 2014) afirma: “El cemento o Portland que se usa hoy día como conglomerante es una cal hidráulica perfeccionada. Hidráulica quiere decir que tiene capacidad para endurecer tanto al aire como bajo el agua, sin la colaboración del anhídrido carbónico, como sucedía con las primitivas cales. Lo económico del material se debe a que las materias primas que emplea son relativamente abundantes en la naturaleza, y a las ventajas competitivas que ofrece frente a otros materiales de construcción (Porrero, Ramos, Grases, & Velazco, 2014).

3.1.9.2 Agua

El agua no debe contener sustancias en suspensión o disueltas que alteren el fraguado del cemento. Las aguas muy puras (lluvia) son ácidas si el $\text{pH} < 7$.

Agua potable es incolora, inodora, insípida, fresca y no contiene materia orgánica.

La Tabla 5 muestra los límites superiores del contenido de sustancias en el agua potable mientras que la Tabla 6 nos indica los límites máximos de sustancias en aguas no potables (Jahuana, 2015).

Tabla 5.

Límites mayores del contenido de sustancias - agua potable

<i>Sustancia</i>	<i>Miligramos por litro</i>
Cloro	60
Ácido sulfúrico	50
Cal	150
Magnesia	50
Materia orgánica	3
Amoníaco libre por destilación	0,02
Ácido nítrico 20	20

Nota: Fuente: Elaboración de (Jahuana, 2015).

Tabla 6.

Límites máximos de sustancias en aguas no potables.

<i>Sustancia</i>	<i>gramos/litro</i>
Anhídrido sulfúrico	0,3
Materia orgánica	0,03
Sulfuros expresados en azufres	0,05
Cloruros	10
Ph	6<pH<8

Nota: Fuente: Elaboración de (Jahuana, 2015).

3.2. Pigmentos

Los pigmentos son finas partículas de polvo, químicamente inertes, insolubles y que dotan de color al material al cual se añaden (Castro Guiachetti, 2005).

Una parte de los usuarios suele utilizar la denominación de “colorante” para referirse al producto que colorea el mortero, sin embargo, su descripción correcta es la de pigmento (G&C Colors, 2013).

Un colorante es aquella sustancia soluble en un medio o vehículo (normalmente acuoso) que por sus propiedades ópticas colorea dicho medio a menudo reaccionando con él, por ser solubles, limita su aplicación a productos alimenticios principalmente. Su naturaleza es casi siempre orgánica, y puede ser de origen natural o sintético (G&C Colors, 2013). La variación en el tamaño de una partícula afecta más directamente a la capacidad del pigmento para difractar la luz, que lo que influye en la absorción de está. Una menor absorción de luz (mayor reflejo) da tonalidades blancas. El tamaño de partículas óptimo para conseguir un máximo de difracción de luz es inferior en los pigmentos de color que en los pigmentos blancos. (Castro Guiachetti, 2005).

El uso de pigmentos ha tomando una fuerza latente en nuestro diario vivir, por tanto se han establecido para concreto coloreado ciertas especificaciones para pigmentos.

La norma NTC 3670 establece que la tasa máxima de dosificación prescrita de un pigmento, debe ser igual o menor del 10 % en peso del cemento. Cuando se usa una combinación de pigmentos para producir el color y la intensidad de color deseados, la tasa total de dosificación de todos los pigmentos combinados no debe exceder ninguna de las tasas máximas de dosificación individuales de los pigmentos componentes. (NTC 3760).

3.2.1. Tipos de pigmentos

a) Pigmentos Naturales

Los naturales son productos de cantera o mina. Se tratan para eliminar parte de las impurezas y se muelen finamente, o simplemente se muelen sin tratamiento previo. Son conocidos como óxidos naturales, tierras colorantes o simplemente ocre (G&C Colors, 2013).

Los pigmentos naturales de procedencia de extracciones mineras, localizadas en distintas regiones del mundo, se calcinan a elevadas temperaturas y se hacen pasar por sucesivos tamices para reducir el tamaño de la partícula y controlar su color. El material natural calcinado se tamiza hasta conseguir un tamaño uniforme de los granos de unos 5 a 7 mm. Posteriormente se hacen pasar por varios rodillos que reducen el tamaño, hasta alcanzar un rango de partícula que va desde las 10 hasta las 50 micras. Los fabricantes de dichos pigmentos deben garantizar que el 99,99% de las partículas no superan dicho tamaño. El control de uniformidad del pigmento tiene lugar en este proceso de refinado (Castro Guiachetti, 2005).

Hasta muy avanzado el siglo XIX eran los únicos disponibles. Los casos más antiguos conocidos de su utilización por el hombre los tenemos en las pinturas rupestres (aquellas en las que se utilizaron óxidos de hierro, aún se conservan como nos muestra la Figura 1. Tierras colorantes legendarias que marcaron una época son los Sienas de Italia y Francia, ocre de Vaucluse o Nièvre, sombras de Chipre, Italia y Francia y rojos de España (G&C Colors, 2013).



Figura 1. Pintura rupestre del norte de África realizada a base de óxidos de hierro y ligantes de origen natural. Fuente: (G&C Colors, 2013).

b) Pigmentos Sintéticos

Los pigmentos sintéticos son principalmente óxidos de hierro, cromo, cobalto y titanio. Se debe escoger óxidos técnicamente puros, sin aditivos ni constituyentes secundarios. Así mismo se debe buscar pigmentos con gran poder colorante, el cual no sólo depende de la naturaleza y pureza del pigmento sino también de su finura (Castro Guiachetti, 2005).

Si bien estos pigmentos tienen el mismo origen mineralógico que los naturales, al ser obtenidos por procesos controlados y estandarizados, tienen la ventaja de otorgar alta pureza (no contienen ningún tipo de carga), elevado brillo y alto poder de coloración debido a su pequeño tamaño de partícula en comparación con los óxidos naturales, como se muestra en la Figura 2. Estos pigmentos son estables a la intemperie a la luz UV, al ácido carbónico, a cambios fuertes en la humedad y la temperatura, etc., a los ácidos, a los álcalis y a los componentes del cemento (Castro Guiachetti, 2005).



Figura 2. Pigmento sintético frente al natural. Fuente: (G&C Colors, 2013).

Izquierda: Pieza pigmentada con rojo óxido de hierro sintético ChromaFer 1535. Derecha: Pieza pigmentada con rojo óxido de hierro natural del 80% de riqueza originario de España. La dosificación en ambos casos es del 3% respecto del cemento. Se aprecia que el rojo natural tiene menos fuerza colorante y tono sucio amarronado.

3.2.2 Características de los pigmentos

Los pigmentos adecuados para la coloración de los morteros deben manejar unas características adecuadas en las cuales se destacan las siguientes:

- Tener resistencia elevada a los álcalis (el cemento y la cal son de naturaleza alcalina).
- Resistencia a la acidez, pues muchos elementos de cemento se pueden encontrar sometidos a condiciones ambientales de cierta acidez.
- Resistencia a la radiación solar.
- Ser compatibles con los sistemas acuosos, ya que los morteros y hormigones necesitan agua para fraguar.
- Tener un tamaño óptimo que asegure un buen anclaje en la estructura del mortero u hormigón (G&C Colors, 2013).

Con todo lo anterior podemos establecer la siguiente Tabla 7 donde relacionamos los principales pigmentos utilizados para colorear morteros y hormigones:

Tabla 7.

Composición química de algunos pigmentos más comunes.

Color	Formula Química	Denominación	Nombre común
Rojo	Fe_2O_3	Óxido Ferroso	Hematita
Negro	Fe_3O_4	Óxido Férrico	Magnetita
Amarillo	$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$	-	Linonita
Amarillo	FeOOH	Hidróxido Ferroso	Goetita
Marrón	FeCO_3	-	Siderita
Marrón negro	FeS	-	Pirita

Café	FeOOH + Fe ₃ O ₄ y /o	-	Lepidocroquita
	Fe ₂ O ₃		
Verde	Cr ₂ O ₃	Óxido de Cromo	-
Azul	CoAl ₂ O ₄	Aluminato de Cobalto	-
Azul	Co(Al.Cr) ₂ O ₄	Aluminato de Cobalto	-
Blanco	TiO ₂	Dióxido de Titanio	-

Nota: Fuente: Elaboración de (Castro Guiachetti, 2005).

3.2.3. Aspectos que influyen en la coloración

El color en los pigmentos depende de varios factores físicos, químicos y externos. Entre los factores químicos en los pigmentos inorgánicos, podemos destacar; el tipo de ion metálico o catión que forma el compuesto (cromato de plata, rojo oscuro y cromático de plomo, amarillo (Palet, Antoni 2002).

Cabe resaltar que aparte de otros parámetros como la resistencia, plasticidad, porosidad, etc., desde el punto de vista del color, usar cemento blanco o gris, la granulometría de los áridos, relación agua/cemento, vibrado, prensado, fratasado, etc., van a afectar de manera relevante a la coloración del mortero u hormigón. Mencionaremos a continuación algunos detalles (G&C Colors, 2013).

a) Cemento blanco/gris

Según la tonalidad de cemento en la coloración del pigmento resultará más clara o más oscura, ejemplo de esto tenemos los cementos blancos proporcionará tonos más luminosos que el gris, como lo podemos destacar en la Figura 3 y 4.



Figura 3. Probetas de hormigón sin pigmentar. Fuente:(G&C Colors, 2013). Izquierda elaborada con cemento blanco y resto con grises con oscuridad en aumento.



Figura 4. Probetas pigmentadas al 3% con amarillo ChromaFer 9520 Fuente: (G&C Colors, 2013). Izquierda: cemento blanco. Centro: Cemento gris oscuridad intermedia. Derecha: Cemento gris oscuro.

b) Granulometría de áridos

Un preparado muy rico en finos va a necesitar más dosificación de pigmento ya que la superficie específica total es muy superior a la de un preparado de granulometría más gruesa, y por tanto hará falta más cantidad de pigmento para cubrir dicha superficie (G&C Colors, 2013).

c) Relación agua/cemento

Según la consistencia deseada, la cantidad de agua será variable. Al aumentar esta los tonos se aclaran. El exceso de agua en el preparado genera en el enrase un sobrenadante superficial débil constituido por arrastre de pigmento, finos, y diversos elementos del mortero u hormigón, con lo que el valor estético podría verse mermado. También el exceso de agua va a provocar que, cuando esta desaparezca por evaporación, deje infinidad de micro poros que distorsionan el efecto cromático del producto pigmentado rebajando la intensidad de su tono. Esto se debe al aire ocluido en los poros que aporta matiz blanquecino (G&C Colors, 2013).

f) Tratamiento mecánico durante la fabricación

Vibrado y prensado tienen más efecto sobre la resistencia que sobre el color ya que lo principal es compactar. Sin embargo, la extrusión y talochado aportan una superficie más perfecta, con menos irregularidades lo que se traduce en un tono alto y con más brillo. Como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Superficie lisa de un revestimiento de mortero y la misma superficie en acabado raspado. Fuente: (G&C Colors, 2013).

h) Tratamiento químico superficial inhibidor de fraguado

Mediante la impregnación de los moldes o el uso de sustancias retardantes de fraguado se puede conseguir un efecto de contraste entre árido y el mortero, como se refleja en la Figura 6.

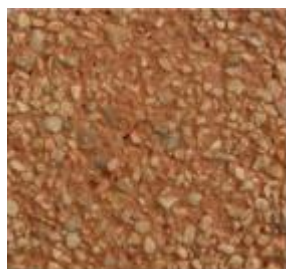


Figura 6. Hormigón tratado con inhibidor de fraguado. Fuente: (G&C Colors, 2013).

El poder colorante de un pigmento se determina por la capacidad que tiene para teñir un pigmento blanco convencional, como es el blanco de Titanio. Hay pigmentos que necesitaran mucha cantidad de pigmento para ser aclarados y otros que no (Palet, Antoni, 2002).

3.2.4. Presentación del pigmento

3.2.4.1. Líquido

Los pigmentos líquidos los podemos diferenciar en el mercado como lo son las pinturas, utilizadas para proteger algunas estructuras y embellecer la fachada de estas.

3.2.4.2 Granulado

Se obtienen por spray drying (secado por pulverización, también llamado atomización). Se trata de unas micro-esferas con un tamaño medio de 300 micras. Se obtienen partiendo del polvo el cual se somete a un proceso de emulsión acuosa con sustancias aglutinantes. Finalmente, el producto es pulverizado en torres de secado.

Estos productos funcionan satisfactoriamente en hormigones semisecos como son los utilizados para la elaboración de prefabricados de adoquín, bloques y tejas. En el resto de aplicaciones presentan inconvenientes y por tanto se continúa utilizando el polvo (G&C Colors, 2013).

3.2.5. Ventajas y propiedades de los pigmentos

Son muchas las ventajas y propiedades de los pigmentos. Los formuladores buscan sustituciones paulatinas del pigmento que sean amigables con el medio ambiente (Inpra Latina 2007).

A continuación, se destacan algunas de ellas:

- a) Máxima adherencia.
- b) Recubrimiento de cualquier estructura.
- c) Resistente al agua y a la humedad.
- d) Resistente a la abrasión, compresión, desgarro.

- e) Resistente a los rayos U.V.
- f) Resistente frente a medios ácidos o alcalinos y a diversos agentes químicos.
- g) Resistente a los efectos climatológicos.
- h) Ofrece protección ante la corrosión y la carbonatación.
- i) Estabilidad química.
- j) Compatibilidad a sistemas acuoso y solventes.
- k) Costos / beneficio.
- l) Gama de tonalidades.

Básicamente, las principales propiedades que dependen de la naturaleza química del pigmento son la resistencia al medio, el color, la diferencia de color y el poder de protección (FABRICAR PIINTURAS).

Esta característica representa ventajas para la industria de recubrimientos, como la baja viscosidad y mejor dispersabilidad debido a la sincronización, que favorece la reducción del consumo de energía en los procesos de fabricación. Se indican para sistemas donde tiene extrema importancia el alto desempeño del pigmento, como, por ejemplo, los sistemas tintométricos.

Grandes fabricantes ofrecen una gama de tonalidades, desde el amarillo-rojizo hasta el amarillo claro. A largo plazo, tendremos la sustitución de los pigmentos inorgánicos a base de plomo, por ejemplo, por otras tecnologías en algunas aplicaciones debido a las demandas ambientales. Sin embargo, en este momento las empresas continúan realizando pruebas para encontrar las soluciones más adecuadas balanceando el costo y el desempeño técnico para la introducción definitiva de los pigmentos sustitutos (INPRA LATINA 2007).

La adaptación del pigmento y su necesidad de utilidad permiten su uso en casi cualquier aplicación con requerimientos de impermeabilización y/o protección, sintetizando

lo anterior se puede destacar de las propiedades de los pigmentos en casi todas las áreas industriales desde las textiles hasta las constructivas.

3.3. Técnicas de caracterización

3.3.1. Ensayo de compresión

Este tipo de ensayo, determina del esfuerzo de compresión de morteros de cemento hidráulico. La compresión se mide sobre dos (2) cubos de 50mm o (2”) compactados en dos (2) capas. Los cubos son curados en los moldes y se desmoldan y sumergen en agua-cal hasta su ensayo. Las proporciones en masa para formar el mortero usado están compuestas de 1 parte de cemento y 2.75 partes de arena normalizada. El cemento Portland o el cemento Portland con incorporadores de aire son mezclados con una relación agua/cemento especificada. Para otros tipos de cemento la cantidad de agua de amasado debe ser aquella que produzca una fluidez de 110 ± 5 en 25 golpes en la mesa de flujo.

En este ensayo se determina la resistencia a la compresión con los cubos que van a ser ensayados a las 24 horas, que se sacan de la cámara húmeda cubriéndolos con un paño húmedo, mientras se van pasando a la máquina. Para los otros cubos, se deben sacar del tanque de almacenamiento uno a uno y probarse inmediatamente. Todos los cubos se ensayan dentro de las siguientes tolerancias de tiempo: a las 24 horas $\pm 1/2$ hora; a los 3 días ± 1 hora; a los 7 días ± 3 horas, a los 28 días ± 12 horas y a los 56 días ± 24 horas. La carga aplicada a la muestra, se mide con una tolerancia de $\pm 1.0\%$. El soporte superior, tiene una esfera metálica firmemente asegurada al centro del apoyo superior de la máquina (sistema de rótula) (INVIAS 323, 2007).

3.3.2. Difracción de rayos X

La difracción de rayos X (DRX) es la más común y conocida de las técnicas de identificación de compuestos cristalinos, ya que permite conocer casi todos los constituyentes significativos, además de que un análisis detallado permite extraer información precisa como estructura, orientación, tamaño de grano y grado de cristalinidad.

Los rayos X son una forma de radiación electromagnética que tiene elevada energía y corta longitud de onda: del orden de los espacios interatómicos de los sólidos. Cuando un haz de rayos X incide en un material sólido, parte de este haz se dispersa en todas direcciones a causa de los electrones asociados a los átomos o iones que encuentra en el trayecto (Willian Callister, 1995).

La difracción de rayos X envuelve la interacción magnética de radiación de una longitud de onda (λ) de alrededor de 0,1 nm con los átomos en el sólido. Como las distancias entre los átomos en un cristal son comparables con la longitud de onda de la radiación, los cristales pueden difractar rayos X.

Una vez el material se ha identificado, la cristalografía puede usarse para determinar su estructura, es decir, como es el empaquetamiento del cristal y cuáles son las distancias y ángulos que lo caracteriza.

El patrón de una fase en polvo es entonces una curva de la intensidad de difracción observada contra el ángulo theta (θ). Cada plano del átomo produce una serie de reflexiones y la distancia interplanar puede ser calculada por la ecuación de Bragg, la cual relaciona el ángulo theta (2θ (Theta) = ángulo entre el haz incidente y el difractado) con los espacios interplanares del cristal según la ecuación:

$$2d_{hkl} \sin\theta = n\lambda$$

Donde: d_{hkl} son los espacios interplanares

θ es el ángulo de difracción

n son los planos de difracción

λ es la longitud de onda

3.4. Estado del Arte

Arguello M., & Pérez J. (2013). Compararon las propiedades físicas y mecánicas de morteros fabricados con pigmentos orgánicos de la Universidad de Cartagena y pigmentos usados por la central cementera, los efectos proporcionados por los pigmentos de la Universidad de Cartagena no fueron los esperados dado que estos redujeron considerablemente la resistencia del mortero. Ellos lograron identificar que el tiempo de fraguado es la propiedad que alterada a la hora de añadirle la proporción de pigmento, lo cual también altera directamente la resistencia.

López, Tobes, Giaccio, & Zerbino. (2009). Analizaron la forma de aprovechar la coloración dada por la adición de pigmentos a los morteros y concretos, ellos expresan que en los morteros se puede observar el efecto de los pigmentos en la viscosidad de los concretos autocompactantes (coloured self-compacting concrete, C-SCC) y la evaluación de aspectos específicos como los parámetros colorimétricos, la homogeneidad del color y el acabado de la superficie. Encontraron que la capacidad de auto-compactación del mortero permanece prácticamente invariable cuando hay pequeños cambios en el contenido de pigmento.

H., Udeos, C., & González, B. (2010), analizaron el proceso constructivo del concreto a la vista y de la influencia de cada etapa en el acabado final de este, tomando en cuenta la adición de pigmentos para la coloración del hormigón y además observando el comportamiento al utilizar aditivos colorantes y pigmentos de óxidos minerales. Concluyeron que “la presentación o la estética de una estructura de hormigón simple o armado depende, en gran mayoría, de un adecuado proyecto en el que, se resalte la belleza natural de los ingredientes del mismo, se seleccione el apropiado método de acabado y además de manera importante el esmero en su ejecución; también se debe tener en cuenta que en los hormigones decorativos con agregados expuestos, el contraste entre la matriz de hormigón y el agregado propiamente, puede ser mucho más acentuado mediante el uso de agregados opuestos al del cemento, ya que este es el compuesto que hace prevalecer en mayor grado su color dentro de la masa de hormigón”.

Castro Guiachetti, M. (2005), analizó las ventajas estructurales y económicas que implicaba la utilización de pigmentos en hormigones arquitectónicos, además de comparar el comportamiento de concretos con pigmentos chilenos y de otros países. Concluyeron que:

“Los hormigones coloreados fabricados con materiales chilenos, presentan un comportamiento similar a otros hormigones ensayados en otros países, es decir, no disminuyen mayormente la resistencia a la compresión. Esto permite afirmar que los hormigones realizados, no presentan variaciones de las que pueda desprenderse que exista un riesgo por su utilización, ya que dichos resultados revelan una baja incidencia de la adición de pigmento en la resistencia, ajustándose dichos valores a los márgenes establecidos por las normas”.

El uso de cemento gris en el estudio hizo que las tonalidades no fuesen tan intensas como si hubiese usado cemento blanco, además no se realizó un seguimiento de color de las muestras para estudiar el proceso de decoloración y las condiciones climáticas de la ciudad de Chile no son iguales a las de Cartagena, en la que fue realizada la investigación.

M.C. Zurita, E. Villa, A.I. Torres, J.M. Fernández, (2013) utilizaron diferentes pigmentos minerales entre los cuales tenían el ocre, rojo y verde, todos de Lanzas Energizing. Los morteros estudiados fueron de una sola capa comercialmente y utilizados con una mezcla de calcita (CaCO_3 , 05-0586). Concluyeron que los pigmentos ocre, rojos y verdes en concentraciones de 0.5% en morteros MR y MS se han teñido, pero la presencia de hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), goethita ($\alpha\text{-FeOOH}$) y Cr_2O_3 no han sido detectados por DRX en cualquier caso.

C. Giraldo, J.I. Tobon, J.C. Restrepo, O.J. Restrepo (2007). Compararon la resistencia a compresión de morteros con 20% de remplazo de pigmentos tradicionales de la industria cementera y con el pigmento AU a 7 días de curado, cuantificaron e identificaron el efecto puzolánico del pigmento bajo la norma ASTM C311 a edades de 1, 3, 7 y 28 días de curado y por métodos de caracterización como TG y DRX, que permiten identificar la pérdida del HC y las fases desarrolladas durante el proceso de hidratación. Realizaron una sustitución de cada pigmento (amarillo, rojo, negro verde y AU) por cemento Portland blanco tipo I. Los morteros de cemento blanco adicionados con AU presentan resistencias a la compresión del 121, 154 y 126% a los 3, 7 y 28 días respectivamente en comparación a los morteros sin reemplazo. Lo que sugiere un efecto puzolánico muy fuerte, muy por encima del 75% que establece la norma ASTM C311.

H. Li, X. Yang, W. Xu, J. Wu, J. Xu, G. Zhang, Y. Xia (2013). Evaluaron la viabilidad de la aplicación de lodos de galvanoplastia compuestos secos (CEPS) en la preparación de morteros decorativos a base de cemento con pigmento verde. Los resultados muestran que CEPS puede ajustar bien el color del mortero. Si bien CEPS conduce al

aumento de la absorción de agua del mortero, la absorción de agua del mortero preparado con un 5% de CEPS aún cumple con el requisito establecido en la Norma de la Industria de Materiales de Construcción de China JC / T 1024-2007. Los morteros con CEPS están provistos de casi las mismas resistencias a la compresión, flexión y tracción que estas del control. Los productos de hidratación del cemento como el gel, el Ca(OH)_2 y la estringita pueden observarse en diferentes muestras. Las microestructuras más densas que la del control se forman en los morteros con CEPS. A partir de una intensidad casi similar en el pico de Ca(OH)_2 , el CEPS no tiene una influencia notable en la hidratación del cemento.

4. Parte experimental

4.1. Ensayo granulométrico

El ensayo granulométrico se realizó en el laboratorio CONCRELAB ubicado en la ciudad de Barranquilla, Atlántico; bajo las normas ASTM C 144 – NTC 2240 para una arena triturada. La Tabla 8, muestra los límites que debe cumplir la granulometría correspondiente de los agregados usados en morteros de mampostería para utilizar una arena natural o una triturada.

Tabla 8.

Granulometría de los agregados.

Tamiz NTC	Porcentaje que pasa	
	Arena Natural	Arena triturada
4,75 mm (N° 4)	100	100
2,36 mm (N° 8)	95 a 100	95 a 100
1,18 mm (N° 16)	70 a 100	70 a 100
600 um (N° 30)	40 a 75	40 a 75

300 um (N° 50)	10 a 35	20 a 40
150 um (N° 100)	2 a 15	10 a 25
75 um (N° 200)	0 a 5	0 a 10

Nota: Fuente: Norma Técnica Colombiana. (NTC 2240).

La Tabla 9, muestra los resultados obtenidos del ensayo granulométrico. A partir de estos datos obtenidos se graficó la curva granulométrica, como se observa en la Figura 7.

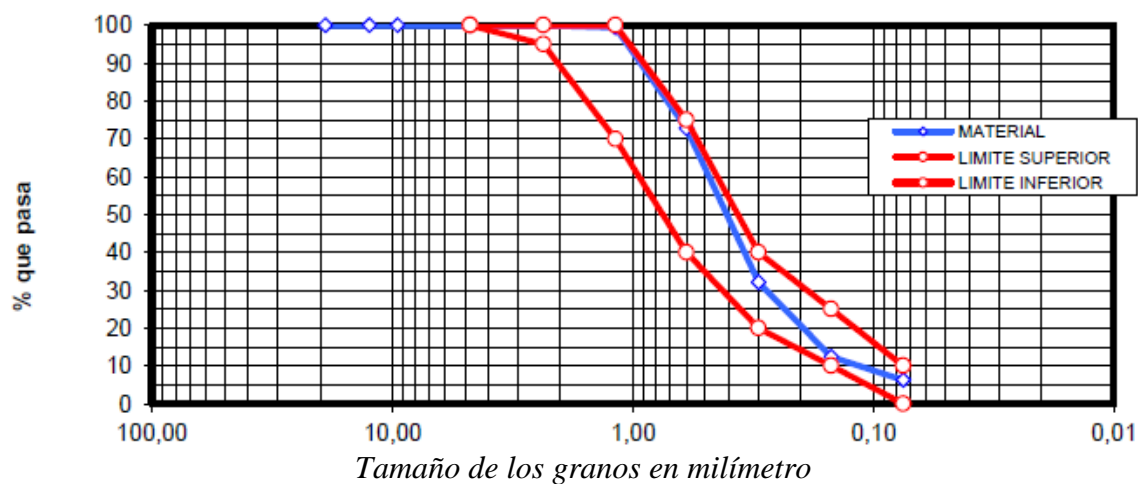
Tabla 9.

Resultados obtenidos en el ensayo granulométrico.

<i>Tamices</i>	<i>Abertura (mm)</i>	<i>Masa retenida (g)</i>	<i>% Retenido</i>	<i>% Retenido acumulado</i>	<i>% Pasa</i>	<i>Limite Superior</i>	<i>Límite Inferior</i>
<i>N°</i>							
<i>3/4''</i>	<i>19,00</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>100,0</i>		
<i>1/2''</i>	<i>12,50</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>100,0</i>		
<i>3/8''</i>	<i>9,51</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>100,0</i>		
<i>4</i>	<i>4,75</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100</i>	<i>100</i>
<i>8</i>	<i>2,36</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100</i>	<i>95</i>
<i>16</i>	<i>1,18</i>	<i>8,4</i>	<i>0,6</i>	<i>0,6</i>	<i>99,4</i>	<i>100</i>	<i>70</i>
<i>30</i>	<i>0,60</i>	<i>384,4</i>	<i>26,7</i>	<i>27,2</i>	<i>72,8</i>	<i>75</i>	<i>40</i>
<i>50</i>	<i>0,30</i>	<i>586,1</i>	<i>40,7</i>	<i>67,9</i>	<i>32,1</i>	<i>40</i>	<i>20</i>
<i>100</i>	<i>0,15</i>	<i>283,3</i>	<i>19,7</i>	<i>87,5</i>	<i>12,5</i>	<i>25</i>	<i>10</i>
<i>200</i>	<i>0,075</i>	<i>89,6</i>	<i>6,2</i>	<i>93,8</i>	<i>6,2</i>	<i>10</i>	<i>0</i>
	<i>Fondo</i>	<i>89,9</i>	<i>6,2</i>	<i>100,0</i>			
	<i>Total</i>	<i>1441,7</i>	<i>100,0</i>				

Nota: Fuente:(Elaboración propia Romero Isafas, Rocha Andreina) con base (Invias-123, 2012).

De acuerdo con las propiedades físicas del material y los resultados encontrados se clasifica a la arena como S_w es decir arena bien gradada. El módulo de finura obtenido es de 1,83 como se observa en la Tabla 10.



solicitaciones de esta investigación se recomienda una fluidez del mortero entre 100-120% es decir con una consistencia media (plástica).

Tabla 11.

Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación.

Consistencia	Fluidez %	Condición de colocación	Ejemplo de tipos de estructuras	Ejemplo de sistemas de colocación
Dura (Seca)	80-100	Selecciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimientos de túneles, galerías, pantallas de cimentaciones, pisos.	Manual
Media (Plástica)	100-120	Sin vibraciones	Pega de mampostería baldosines, pañetes y revestimiento.	Manual con palas, palustres.
Fluida (Húmeda)	120-150	Sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería, baldosines, estructuras, mortero autonivelantes para pisos.	Manual, bombeo inyección.

Nota. Fuente: Elaboración de (Florez, 2003) pág. 120.

Para una adecuada aplicación del mortero y para utilizar una adecuada optimización de las proporciones de los materiales empleados y aprovechar sus propiedades y características. A continuación se muestra y se especifica la cantidad de material a dosificar partiendo de una mezcla de mortero con una resistencia teórica de 175 Kg/cm² (17,5 MPa).

4.2.1. Contenido de cemento

El cemento utilizado para la elaboración de la mezcla, fue cemento portland de uso estructural marca Argos (Tipo UG), el cual cumple con los requerimientos para concretos estructurales destinados para vigas, columnas, losas y obras de infraestructura.

En la Tabla 12, se muestran las características propias del cemento como son la densidad y finura de Blaine.

Tabla 12.

Características del cemento.

Densidad g/cm ³	2,922
Finura de Blaine cm ² /g	3951

Nota: Fuente: (Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

Tal como se ha descrito anteriormente, partiendo de una resistencia de diseño del mortero de 175 Kg/cm² (17,5 Mpa), con una consistencia plástica, con una fluidez entre 100 - 120 % y un módulo de finura de la arena de 1,83, se obtiene que la cantidad de cemento a utilizar es de 530 Kg/cm³ de concreto.

4.2.2. Contenido de agua

La relación agua/cemento es un factor pertinente a la durabilidad y la resistencia, en la cual se fortalecen las propiedades para el acabado del concreto y mortero. Debido a la brecha que existe entre el agua y el cemento se establece que la relación agua/cemento crece cuando aumenta la cantidad de agua y disminuye cuando aumenta el contenido de cemento. Es por ello que el peso del agua utilizada siempre debe ser menor que el peso del cemento.

La Figura 8, muestra la dependencia entre la resistencia a la compresión a los 28 días de edad y la relación agua/cemento.

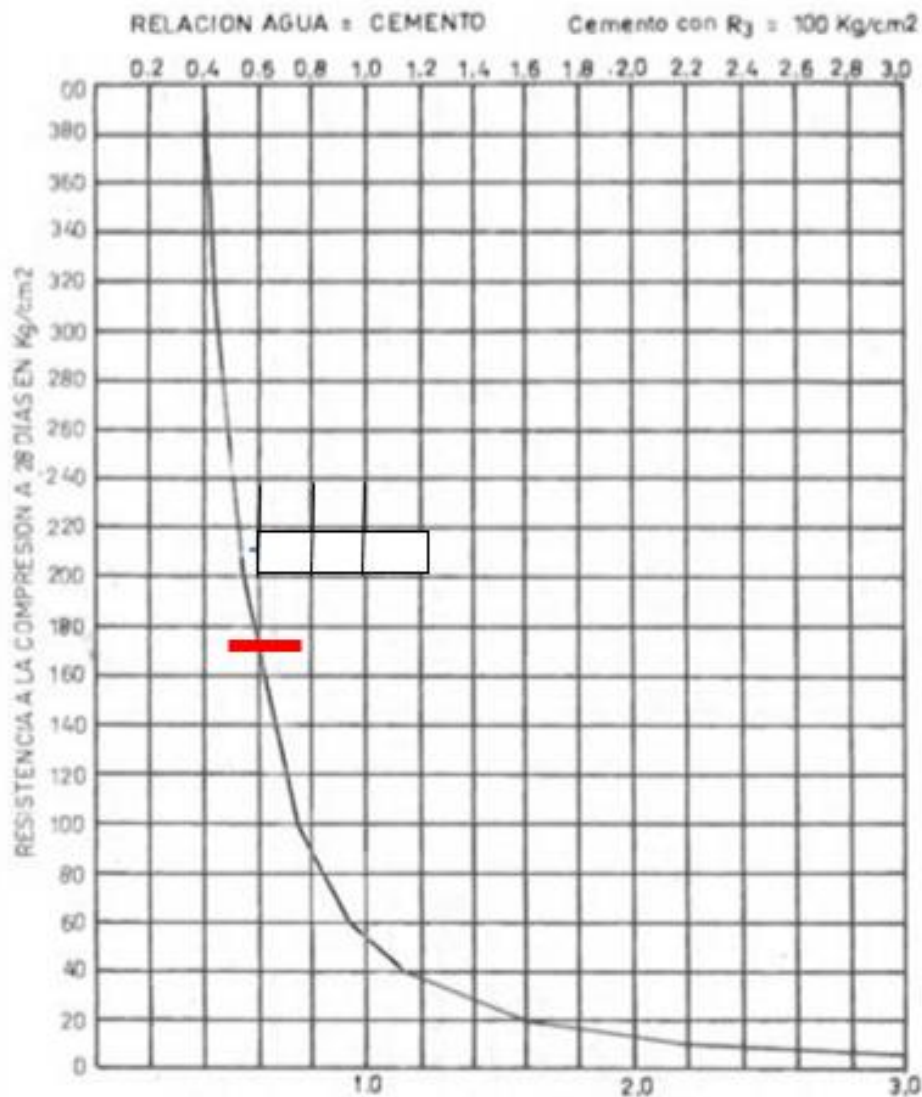


Figura 8. Relación agua-cemento. Nota: Fuente: Elaboración de (Flórez, 2003) pág. 126.

Partiendo de una resistencia teórica de 175 Kg/cm^2 ($17,5 \text{ Mpa}$), y utilizando la Figura 8, se establece que la relación agua / cemento (A/C) a utilizar es de 0,60

A partir de la relación A/C calculamos la cantidad de agua por metro cúbico tal como se muestra a continuación:

$$\text{Agua} = \text{Relación agua cemento} * \text{Cemento} \quad (1)$$

$$\text{Agua} = 0,60 * 530 \text{ Kg/m}^3$$

Agua = 318 Litros por m³ de mortero

Por tanto, la cantidad de agua a utilizar es de 318 L/m³ de mortero.

4.2.3. Contenido de arena

De acuerdo con la granulometría realizada inicialmente (ver Tabla 9) se obtuvieron datos representativos acerca de las propiedades del agregado como masa unitaria suelta, masa unitaria apisonada, absorción, contenido de materia orgánica, etc., y que se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13.

Resultados obtenidos de la arena.

Propiedades físicas del agregado	
Masa unitaria suelta SSS (Kg/m ³)	1470
Masa unitaria apisonada (Kg/m ³)	1616
Absorción %	1,47
Densidad aparente (g/cm ³)	2,54
Densidad SSS (g/cm ³)	2,58
Densidad nominal (g/cm ³)	2,644
Contenido de materia orgánica	1
Pasa tamiz 200 %	6,2

Nota: Fuente: (Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

Partiendo de los datos mostrados en la Tabla 13, se calculó el volumen de cemento (V_c) utilizando la formula (2).

$$V_c = \frac{\text{Cantidad de Cemento}}{\text{Densidad del Cemento}} \quad (2)$$

$$V_c = \frac{530 \text{ Kg}}{2922 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_c = 0,181 \text{ m}^3 \text{ por m}^3 \text{ de mortero}$$

Dado que para un volumen de agua de 318 Litros por m³ de mortero (0,318 m³) y un volumen de aire incluido de 0,005 se calculó el volumen de arena (Var) utilizando la fórmula (3).

$$V_{\text{arena}} = 1 - \text{Volumen de cemento (Vc)} - \text{Volumen de agua (V agua)} - \text{Volumen de aire (Va)} \quad (3)$$

$$V_{\text{arena}} = 1 - 0,181 \text{ m}^3 - 0,318 - 0,005$$

$$V_{\text{arena}} = 0,496 \text{ m}^3 \text{ por m}^3 \text{ de mortero}$$

Remplazando (3) en (4) se obtiene la masa de la arena.

$$\text{Masa de la arena} = \text{Volumen de la arena} * \text{Densidad de la arena} \quad (4)$$

$$\text{Masa de la arena} = 0,496 \text{ m}^3 * 258 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa de la arena} = 127,968 \text{ Kg}$$

Teniendo en cuenta el valor de la masa unitaria suelta de la arena de 1470 Kg/m³ contemplada en la Tabla 15, se procede a calcular el contenido de arena.

Para calcular el contenido de arena se utiliza la siguiente fórmula

$$\text{Contenido de arena} = \frac{\text{Masa de arena}}{\text{Masa unitaria de la arena}} \quad (5)$$

$$\text{Contenido de arena} = \frac{127,968 \text{ Kg}}{1470 \text{ Kg/m}^3}$$

$$\text{Contenido de arena} = 0,870 \text{ m}^3$$

En la Tabla 14, se muestran las proporciones por metro cúbico de los componentes del mortero. Así mismo en la Tabla 15, se observan las proporciones por bulto de cemento de 50 Kg.

Tabla 14.

Proporciones por metro cúbico de los componentes del mortero

	En masa	En volumen
Cemento	530,0 Kg	10,6 Bultos de 50 kg
Arena	1278 Kg	0,870 m ³
Agua		318 Litros

Nota: Fuente:(Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

Tabla 15.

Proporciones por bulto de cemento de 50 Kg.

	En masa	En volumen
Cemento	50 Kg	1,0 Bulto de 50 kg
Arena	121,0 Kg	82,0 Litros
Agua		30 Litros

Nota: Fuente:(Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

4.3. Diseño de morteros con adición de pigmento

4.3.1. Pigmento

Para el diseño de los morteros pigmentados se utilizaron dos clases de pigmentos, un pigmento de un óxido de hierro natural que se denominara P1 y un pigmento sintético “Mineral café de Mola” de la empresa G. Ochoa & Cía. Ltda. que se denominará P2. La Figura 9, muestra el pigmento natural (P1) obtenido del proceso natural de oxidación de un material metálico de hierro. En la figura (a) se observa la herrumbre y en la figura (b) la herrumbre triturada. Para obtener el pigmento de un óxido de hierro natural se trituro la herrumbre convirtiéndola en una finura adecuada para adicionar a los morteros, se procedió a tamizar en los tamices # 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 respectivamente. La Tabla 16 muestra la granulometría realizada al óxido de hierro natural.



a.



b.

Figura 9. Pigmento de óxido de hierro (P1). Nota: (Fuente: Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

Tabla 16.

Granulometría pigmento de un óxido de hierro natural (P1).

Tamiz	Mm	Masa retenida %
4	4,75	0
8	2,36	0
16	1,18	40,975
30	0,60	39,708
50	0,30	54,309
100	0,15	64,786
200	0,075	100,00
Total		299,788

Nota: Fuente:(Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

La Figura 10, muestra la presentación del pigmento sintético P2.



Figura 10. Esquema del Pigmento Sintético (P2) “Mineral café de Mola”(Fuente: Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

4.3.2 Determinación de las proporciones de pigmento a adicionar al mortero

4.3.2.1. Cantidad de pigmento adicionar

Partiendo de un porcentaje de adicción de 5% de pigmento, se calculó la cantidad requerida de este con base a la cantidad de cemento, de la siguiente forma:

$$\text{Volumen cubo de mortero} = 5^3 = 125 \text{ cm}^3 = 1.25 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$X = \frac{530 \text{ kg} * 1.25 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3}$$

$$X = 0,067 \text{ kg}$$

Para un cubo se necesitan 0.067 Kg de cemento.

$$X = 0,067 \text{ kg} * 9 \text{ s}$$

$$X = 0,60 \text{ Kg de cemento}$$

Teniendo en cuenta que para un cubo se necesitan 0,067 kg de cemento, para 9 cubos necesitamos 0,60 Kg de Cemento, correspondiente a tres edades de curado.

Partiendo del dato de adición del 5% de pigmento se procedió a calcular el porcentaje de este:

$$\% \text{ adición} = 0.60 \text{ kg} * 5 \%$$

$$\% \text{ adición} = 0.03 \text{ kg}$$

Para 9 cubos (3 edades de curado) y con un porcentaje de adición del 5% se necesitaron 0.03 kg Fe_3O_4 que es igual a 30 g de Fe_3O_4 .

Preparación de los morteros pigmentados

Para la preparación de los morteros pigmentados se mezcló la cantidad de cemento, pigmento, y arena necesaria en una tara. La Figura 11, muestra la cantidad de cemento y pigmento. Se utilizaron cubos de 50 mm o 2” de lado como lo establece la norma NTC 220. Se vertió en el molde la mezcla del mortero que se pretende ensayar de unos 25 mm (1”) de espesor y se comprimió con 25 golpes uniformemente distribuidos, luego se llenó con una segunda capa el molde. Se retiró el exceso de mezcla de la capa superior del mortero.



Figura 11. Esquema de la cantidad de cemento y pigmento. (Fuente: Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

4.3.3 Determinación de la compresión

Para determinar la resistencia a compresión se utilizó un equipo Marca ELECAV. Se colocó un espécimen en la máquina Universal hidráulica en forma de cubo, al cual se le aplicó una carga axial de compresión; se verificó que cada una de las muestras estuvieran bien colocadas. Se aplicó una proporción de carga a una proporción relativa de movimiento entre el plato superior y el inferior que corresponda a una carga aplicada al cubo en el rango de 900 N/segundo a 1800 N/segundo (INVIAS 323, 2007).

En la Figura 12, se evidencia el espécimen en la máquina Universal hidráulica. En la Figura (a) se observa el mortero normal, en la Figura (b) el mortero con adición de óxido de hierro natural, y en la Figura (c) el mortero con adición de pigmento sintético.



(a)



(b)



(c)

Figura 12. Esquema del espécimen en la máquina de compresión. (Fuente: Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

Se determinó la resistencia a la compresión a tres edades de curado (3, 7 y 28 días). Cabe resaltar que todos los ensayos se realizaron por triplicado.

4.3.4 Difracción de rayos X (DRX)

El ensayo de difracción de rayos X (DRX), fue realizado por el grupo de catalizadores y adsorbentes de la Universidad de Antioquia, en Medellín. Se enviaron dos muestras denotado de la siguiente forma:

- P1 (Pigmento óxido de hierro natural)
- P2 (Pigmento sintético)

El análisis fue realizado en el equipo PANalytical utilizando un Sistema de Difractómetro EMPYREAN Modelo 2012, Goniómetro: Omega/2 theta, Configuración de la plataforma: Reflexión Transmisión Spinner, con un ángulo 2θ (5-80°), paso 0.013° - 40 segundos por paso. Se analizaron las fases cristalinas presentes en cada muestra, así como las fracciones de

estas, cabe destacar que los difractogramas obtenidos fueron refinados mediante el método Rietveld

5. Resultados y discusión

Para efectos de interpretación se utilizará la siguiente nomenclatura para identificar los morteros.

- MSP= Morteros sin adición de pigmento o mortero blanco.
- MP1= Morteros con una adición del 5% de P1.
- MP2 = Morteros con una adición del 5% de P2.

Naturaleza de los pigmentos: Análisis mediante difracción de rayos X (DRX)

La Tabla 17, muestra las fases presentes en el pigmento P1. Se muestra que la fase de mayor proporción es la Magnetite con un porcentaje del 53.8 % seguido de Monotite (26.7%) y Hedenbergite-Jadeite, (19.3%) y en menor proporción Halite, potassian (0.2%), lo que da lugar a decir que el pigmento posee una alta cantidad de magnetita. A continuación, se muestran los códigos utilizados como referente en el análisis del DRX para el pigmento P1 (Pigmento óxido de hierro natural).

- Magnetite (Fe_3O_4) – Ref. Code (98-016-4814)
- Monotite ($\text{H}_1\text{Ca}_1\text{O}_4$ P₁) – Ref. Code (98-000-2745)
- Hedenbergite-Jadeite ($\text{Al}_{0.24}\text{Ca}_{0.76}\text{Fe}_{0.76}\text{Na}_{0.24}\text{O}_6\text{Si}_2$) – Ref. Code (98-016-0807)
- Halite, potassian ($\text{Cl}_1\text{K}_{0.4019}\text{Na}_{0.5981}$) – Ref. Code (98-002-8944)

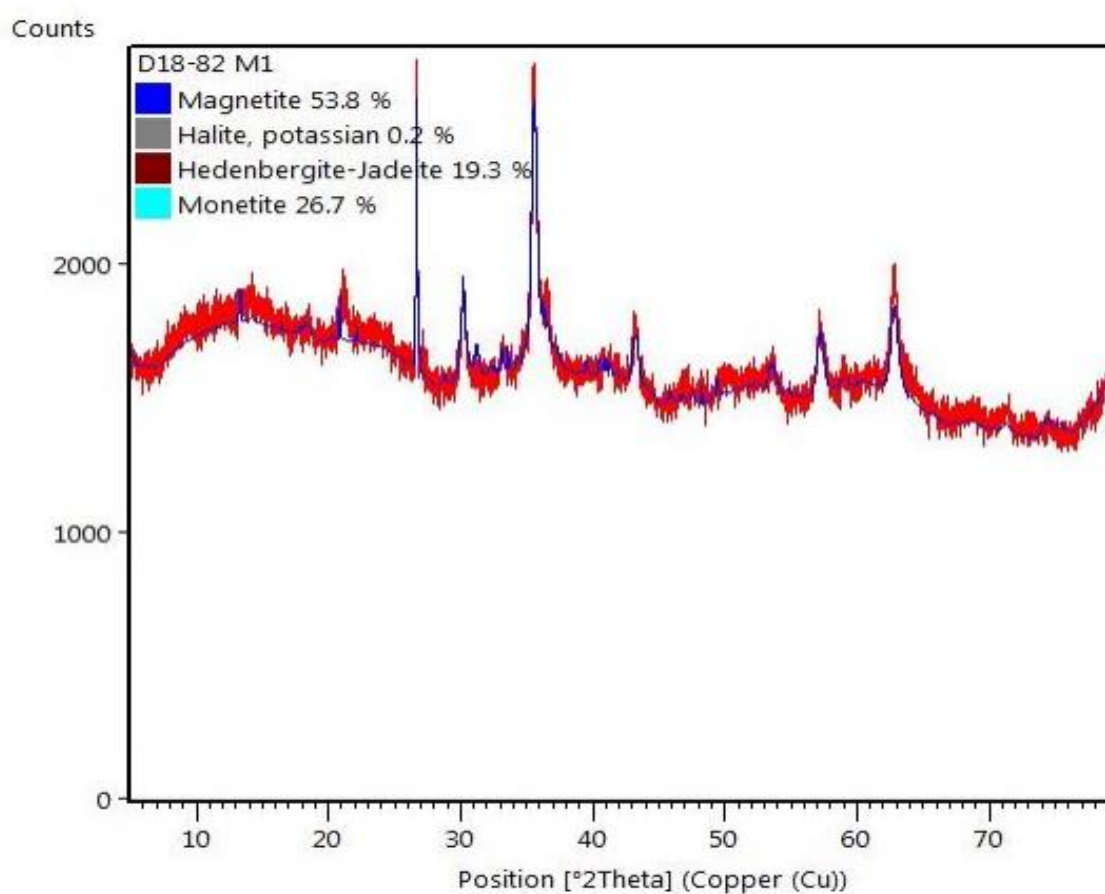
En la Figura 14a se observan los picos característicos y las proporciones de las fases presentes en el pigmento P1, en la Figura 14b se observa los picos de fracción detallados.

Tabla 17.

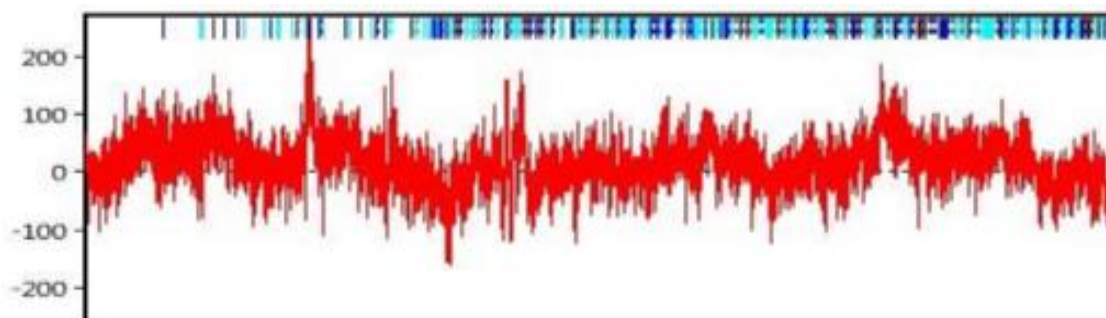
Fases presentes en P1 (Pigmento óxido de hierro natural).

Fases	Fases Cristalinas	Fracción
Magnetite	Fe_3O_4	53.8
Halite potassian	$\text{Cl}_1\text{K}_{0.4019}\text{Na}_{0.5981}$	0.2
Hedenbergite-Jadeite	$\text{Al}_{0.24}\text{Ca}_{0.76}\text{Fe}_{0.76}\text{Na}_{0.24}\text{O}_6\text{Si}_2$	19.3
Monetite	$\text{H}_1\text{Ca}_1\text{O}_4\text{P}_1$	26.7

Nota: Fuente: (Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).



(a)



(b)

Figura 13. Difractograma de rayos X del óxido de hierro natural P1. Nota: (Fuente: Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina.

Para el pigmento P2 (Pigmento sintético), la Tabla 18, muestra las fases presentes. Se observa que la fase Magnetita posee un 37.9% (Fe_3O_4 , llamada óxido negro) y Hematita en un 25.6% (Fe_2O_3 , llamada óxido rojo), seguido de fases tales como Quartz low (14.6%), Goethite (11.2%), Annite (7.4%) y en menor proporción Birnessite, sodian (3.4%). A continuación, se muestran los códigos utilizados como referente en el análisis del DRX para un pigmento P2 (Pigmento sintético).

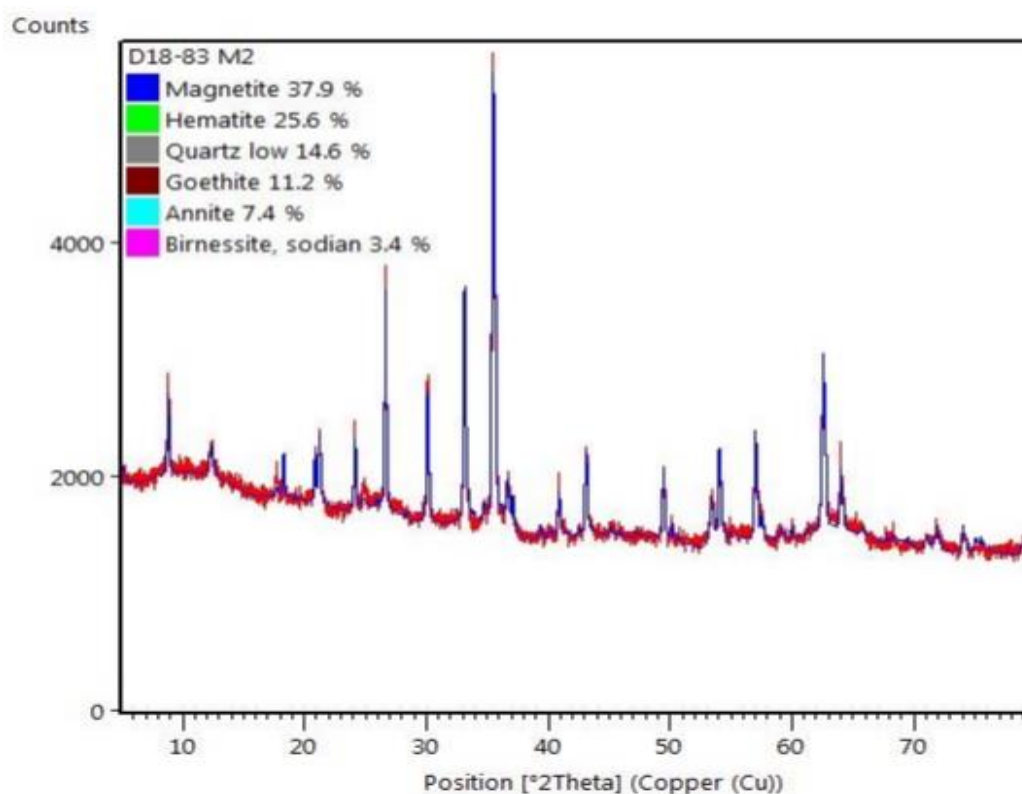
- Magnetite (Fe_3O_4) – Ref. Code (98-006-4829)
- Hematita (Fe_2O_3) – Ref. Code (98-0016-1291)
- Quartz low (O_2Si_1) – Ref. Code (98-008-3849)
- Goethite ($\text{H}_1\text{Fe}_1\text{O}_2$) – Ref. Code (98-007-1808)
- Annite ($\text{H}_2\text{Al}_1\text{Fe}_{2.918}\text{K}_{0.956}\text{O}_{12}\text{Si}_3$) – Ref. Code (98-008-9806)
- Birnessite, sodian ($\text{H}_{2.76}\text{Mn}_2\text{Na}_{0.58}\text{O}_{5.38}$) – Ref. Code (98-015-6187)

La Figura 15a muestra las fases presentes en el pigmento sintético, así como también (Figura 15b) los picos detallados.

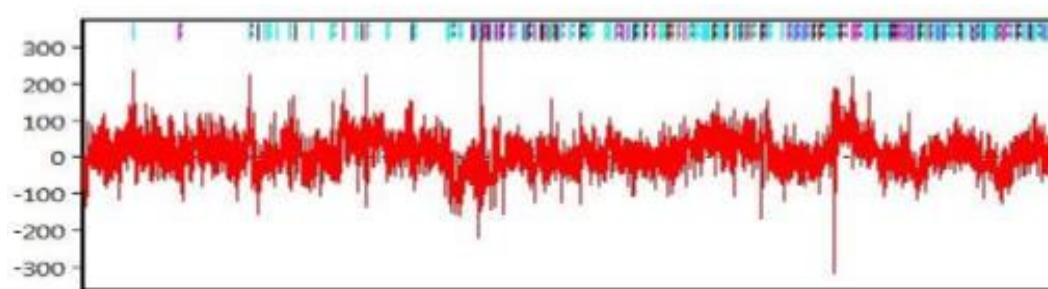
Tabla 18.*Fases presentes en P2 (Pigmento sintético).*

Fases	Fases Cristalinas	Fracción
Magnetite	Fe_3O_4	37.9
Hematite	Fe_2O_3	25.6
Quartz low	O_2Si_1	14.6
Goethite	$\text{H}_1\text{Fe}_1\text{O}_2$	11.2
Annite	$\text{H}_2\text{Al}_1\text{Fe}_{2.918}\text{K}_{0.956}\text{O}_{12}\text{Si}_3$	7.4
Birnessite, sodian	$\text{H}_{2.76}\text{Mn}_2\text{Na}_{0.58}\text{O}_{5.38}$	3.4

Nota: Fuente: (Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).



(a)



(b)

Figura 14. Gráfica de picos y proporciones de las fases presentes en el pigmento sintético M2 Nota: (Fuente: Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

Aspecto visual de las probetas.

La Figura 13, muestra los morteros preparados en el laboratorio. Se observa en cuanto a coloración que los morteros MP2 presentan una coloración café oscura en comparación a los morteros MSP y MP1. Sin embargo, entre estos dos últimos, el mortero MP1 tiene una tonalidad más oscura en relación al mortero blanco. Dada las diferencias encontradas entre los morteros a nivel de coloración es muy pertinente utilizar la colorimetría para estudios posteriores. La colorimetría es una técnica instrumental que tiene por objeto determinar la absorción de luz visible por una muestra mediante técnicas de análisis instrumental, sobre todo mediante la utilización de un espectrofotómetro (PONTACQ ALFONSO, EMILIA VIRGINIA, 2016).

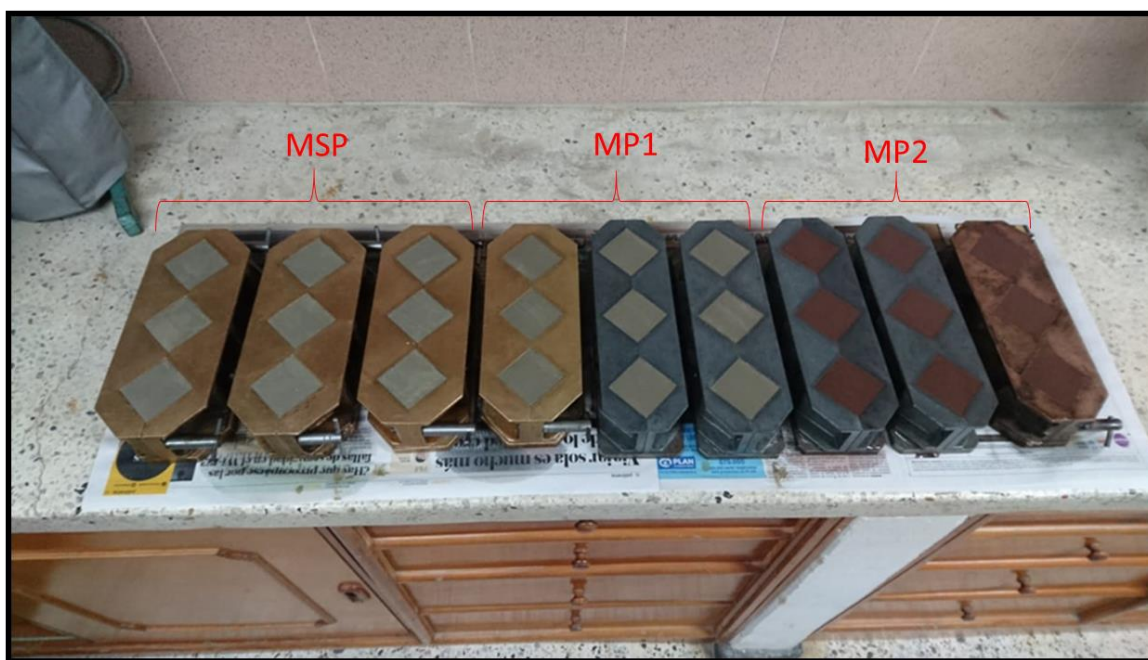


Figura 15. Esquema de los especímenes de morteros. Nota: (Fuente: Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

5.1. Evaluación de la resistencia a la compresión del mortero sin adición de pigmento-MSP.

La Tabla 19, muestra los resultados de la resistencia a la compresión de morteros sin adición de pigmento (MSP) para los distintos días de curado. Se observa un promedio de resistencia a la compresión de 7.8 Mpa al tercer día, 12.5 Mpa para el día 14 y 18.1 Mpa a los 28 días de curado. En la Figura 16, se observa una gráfica del % resistencia vs días para morteros sin adición de pigmento, la cual evidencia una tendencia de aumento de la resistencia con el tiempo de curado.

Tabla 19.

Resistencia a la compresión de morteros sin adición de pigmento.

Edad (Días)	Carga máxima (KN)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Resistencia especificación (Mpa)	Promedio de resistencia (Mpa)
3	19,65	7,8	17,5	7,8
3	20,00	7,9	17,5	
3	19,15	7,6	17,5	
7	31,81	12,6	17,5	12,5
7	31,59	12,5	17,5	
7	31,30	12,4	17,5	
28	45,55	18,0	17,5	18,1
28	45,20	17,8	17,5	
28	46,87	18,4	17,5	

Nota: Fuente:(Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

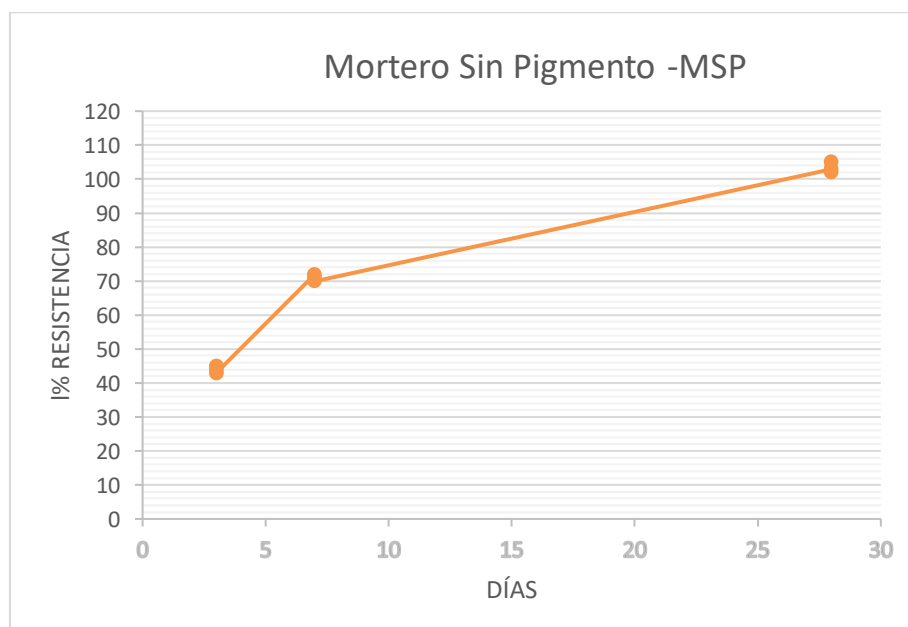


Figura 16. Gráfica del % Resistencia vs días para morteros sin adición de pigmento.

Nota: Fuente:(Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

5.2. Evaluación de la resistencia a la compresión de los morteros con una adición del 5% de óxido de hierro natural (P1).

En la Tabla 20, se evidencia los resultados de resistencia a la compresión de los morteros a los distintos días de curado con una adición del 5% de óxido de hierro natural. El análisis de los datos muestra que al adicionar el pigmento al mortero no se altera la resistencia a la compresión, respecto al mortero blanco (MSP).

Tabla 20.

Resistencia a la compresión de morteros con una adición del 5% de óxido de hierro natural (MP1).

Edad (Días)	Carga máxima (KN)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Resistencia especificación (Mpa)	Promedio de resistencia (Mpa)
3	19,73	7,8	17,5	7,8
3	19,20	7,5	17,5	
3	20,29	8,0	17,5	
7	31,93	12,6	17,5	12,6
7	31,20	12,4	17,5	
7	32,44	12,8	17,5	
28	44,99	17,7	17,5	17,8
28	45,15	17,8	17,5	
28	45,36	17,8	17,5	

Nota: Fuente:(Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

La Figura 17, muestra el comportamiento de la resistencia a la compresión de los morteros a los distintos días de curado. Se observa un mortero con pigmento natural al 5% en el cual se evidencia un porcentaje de resistencia en aumento.

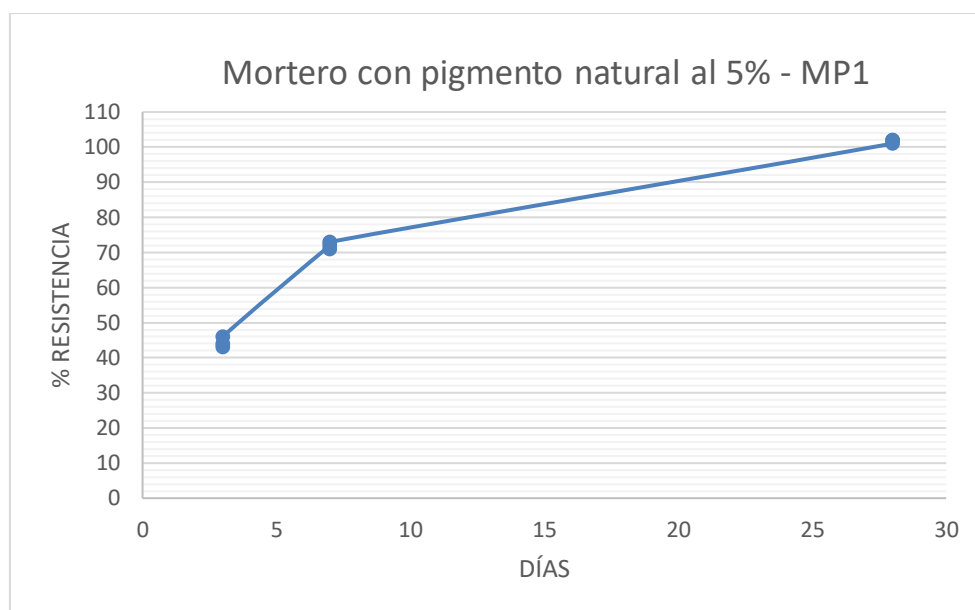


Figura 17. Gráfica del % Resistencia vs Días para morteros con adición de pigmento óxido de hierro natural.

Nota: Fuente:(Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

5.3. Evaluación de la resistencia a la compresión para morteros con adición del 5% de un pigmento sintético mineral (P2).

En la tabla 21, se muestra la resistencia a la compresión de morteros con una adición del 5 % de pigmento sintético mineral (MP2). Se observa que la resistencia a la compresión de los morteros con una adición del 5 % de un pigmento sintético mineral, muestra una tendencia de aumento en la tercera edad de curado (28 días) y una disminución en la segunda edad de curado con respecto al MSP.

Tabla 21.

Resistencia a la compresión de morteros con una adición del 5% de pigmento sintético.

(MP2).

Edad (Días)	Carga máxima (KN)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Resistencia especificación (Mpa)	Promedio de resistencia (Mpa)
3	21,22	8,4	17,5	8,2
3	20,65	8,0	17,5	
3	21,41	8,3	17,5	
7	30,98	12,0	17,5	12,2
7	32,22	12,4	17,5	
7	30,92	12,1	17,5	
28	45,23	17,7	17,5	18,0
28	46,04	18,1	17,5	
28	45,96	18,1	17,5	

Nota: Fuente:(Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

La Figura 18, muestra la gráfica del % de resistencia obtenida para morteros con adición de un pigmento sintético. Se observa que el mortero con pigmento sintético al 5% mantiene una tendencia de aumento a su porcentaje de resistencia de acuerdo a su edad de curado.

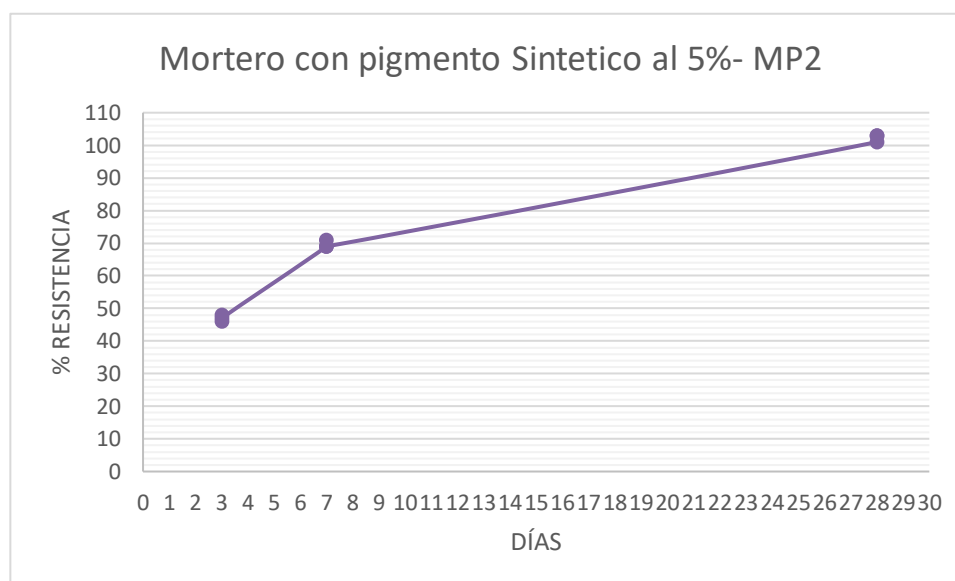


Figura 18. Gráfica del % Resistencia vs Días para morteros con adición de pigmento sintético. Nota:

Fuente:(Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

5.4. Análisis comparativo de las resistencias a la compresión para los distintos morteros fabricados.

En la Figura 19, se observa una gráfica del % Resistencia a la compresión vs la variación de la resistencia a la compresión de los morteros preparados con una adición del 5% del P1 y P2 junto con un mortero blanco MSP. En ella se evidencia una variación del pigmento sintético a partir de los 3 primeros días de curado por encima del pigmento P1, marcando un rendimiento bajo a partir del día 7 de curado con relación al óxido de hierro.

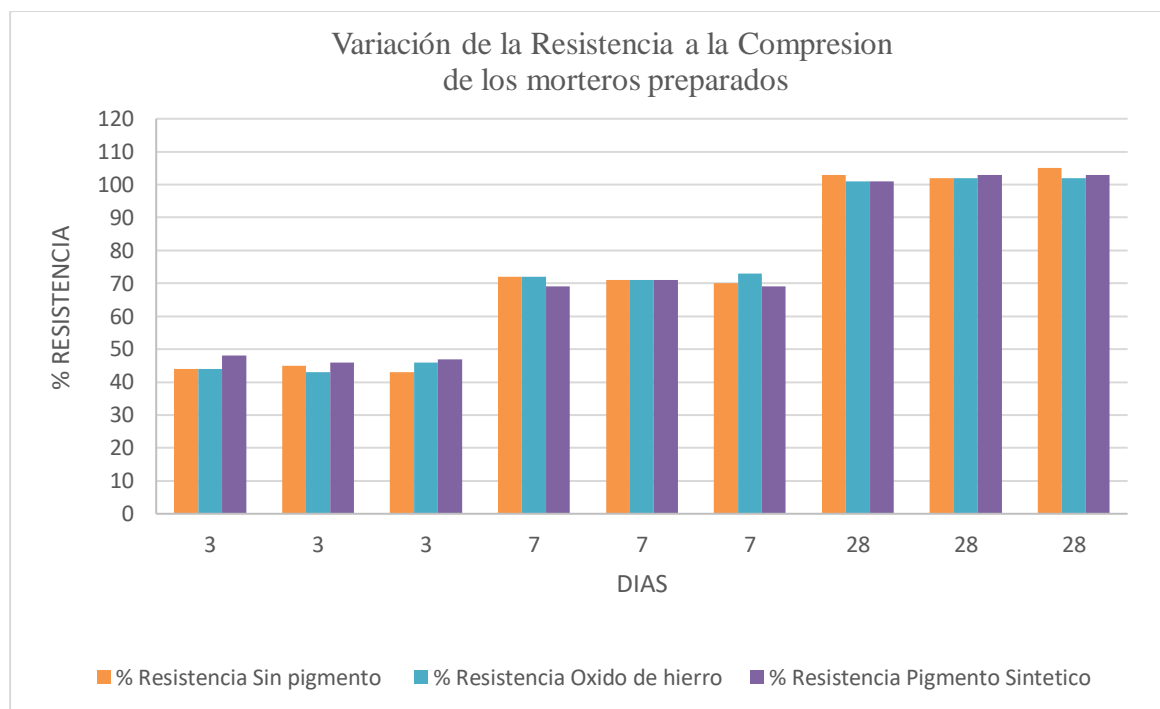


Figura 19 Gráfica del % Resistencia vs variación de la resistencia a la compresión de los morteros preparados

Nota: Fuente:(Elaboración propia Romero Isaías, Rocha Andreina).

Así mismo, se infiere que el comportamiento referente a los valores de resistencia no presenta variación de gran envergadura que afecte la resistencia del mortero final, de acuerdo con la proyección de diseño, para un mortero sin adición de pigmento, comparado con un mortero con una adición del 5% pigmentado con óxido de hierro natural y un pigmento sintético.

6. Conclusiones

A manera de conclusión podemos decir que el pigmento P1 (Pigmento de óxidos de hierro naturales), se obtuvo que la fase con mayor porcentaje de proporción es la Magnetite con un porcentaje del 53.8 % seguido de Monetite (26.7%) y en menor proporción Halite Potassian (0.2%), mientras que para el pigmento P2 (Pigmento Sintetico) se observa que la fase Magnetite posee un 37.9 % de proporción (Fe_3O_4 , llamada óxido negro), seguido de la fase Hematita en un 25.6% (Fe_2O_3 , llamada óxido rojo), seguido de fases tales como Quartz low (14.6%), Goethite (11.2%), Annite (7.4%) y en menor proporción Birnessite, sodian (3.4%).

Dentro del análisis expuesto podemos responder a la pregunta problema ¿Teniendo en cuenta las propiedades mecánicas de los morteros pigmentados a base de óxidos de hierro naturales, se podría considerar su implementación como un remplazo viable a los ya tradicionales morteros con pigmentos comerciales? Si, por que no afecta en ninguna instancia la resistencia del mortero, generando una importancia en el ámbito de la construcción por sus altos costos en el mercado, sin embargo, la coloración obtenida no es similar entre los morteros con pigmentos sintéticos y los morteros con pigmento natural.

7. Recomendaciones

Para futuras investigaciones se recomienda:

- Realizar ensayos con cemento específico para morteros y de tipo estructural, para observar si existe alguna variación en su resistencia.
- Aumentar el porcentaje de adición de pigmento, con concentraciones de 10%, 15 % para observar su comportamiento.
- Evaluar el color de la muestra por la técnica UV- VIS, para identificar algunos grupos funcionales que generan la fuerza en la colorimetría.

8. Referencias

- Carvalho, F. (2002). Estructura de hormigón coloreado. Simpósio internacional sobre concretos especiales, 1-41.
- Ramírez Reyes, Pereyra Díaz, García Navarro, Valencia Argüelles, Juárez Rivera. (Enero-Abril de 2011). La corrosión atmosférica y su impacto en la economía veracruzana. Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana.
- Carvalho, F. (14 a 16 de marzo de 2002). Estructuras de Hormigón Coloreado. Sobral, Brasil.
- Barrios, L., Gaviria, L., Agudelo, E., & Cardona, S., (2015) *Tecnologías para la remoción de colorantes y pigmentos presentes en aguas residuales. Una revisión*
- Salamanca Correa, Rodrigo (2001). *LA TECNOLOGÍA DE LOS MORTEROS*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/pdf/911/91101107.pdf>
- León Consuegra, Liset; Torres Fuentes, Magalys. Propuesta de mortero para ser utilizado en la reparación y rehabilitación de estructuras. SIKA Colombia. (07 de 2012). Brochure SIKA colorcreto. CARTAGENA, COLOMBIA.
- Norma Técnica Colombiana, NTC 3329. CONCRETOS. ESPECIFICACIONES DEL MORTERO PARA UNIDADES DE MAMPOSTERIA. (2004-07-28)
- ASTM C270. Clasificación de los morteros usados en mampostería.
- Mora, O. R. Asociación nacional de fabricantes de mortero. Morteros guía general (2003). España.
- Gutiérrez de López, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. (2.a ed.). Manizales. Recuperado a partir de <http://bdigital.unal.edu.co/6167/>

ASTM C916. Ensayo de capacidad de retención de agua de los morteros.

Quiroz, M., & Salamanca, L. (2006). APOYO DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE EN LA ASIGNATURA DE “TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN”. UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN.

Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., & Velazco, G. J. (2014). MANUAL DEL CONCRETO ESTRUCTURAL. Venezuela

Castro Guiachetti, M. (2005). HORMIGÓN CON PIGMENTOS DE COLOR. VALDIVIA.

G&C Colors, s.a. (2013). PIGMENTACIÓN DE MORTEROS Y HORMIGONES.

Palet, Antoni. (2002). Tratado de pintura, color, pigmento y ensayo.

FABRICAR PIINTURAS. Definición de las propiedades de los pigmentos.

<http://fabricarpinturas.com/blog/propiedades-de-los-pigmentos.php>

INVIAS 323 (2007)

Argüello, M., & Perez, J. (2013). Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de morteros bajo los. Cartagena.

López, Tobes, Giaccio, & Zerbino. (2009). Cemente and concrete composites. Revista Internacional de Composites de cemento y hormigón ligero, 7

Fuentes, H., Udeos, C., & González, B. (2010). Hormigón visto en estructura: Proceso constructivo y acabado final. Guayaquil.

M.C. Zurita, E. Villa, A.I. Torres, J.M. Fernández, (2013)

C. Giraldo, J.I.Tobon, J.C.Restrepo, O.J.Restrepo (2007)

H. Li, X. Yang, W. Xu, J. Wu, J. Xu, G. Zhang, Y. Xia (2013).

Norma Técnica Colombiana, NTC 220

Norma Técnica Colombiana, NTC 2240

Norma Técnica Colombiana, NTC 33

Norma Técnica Colombiana, NTC 221

Norma Técnica Colombiana, NTC 3674

Norma Técnica Colombiana, NTC 77

Norma Técnica Colombiana, NTC 78

Norma Técnica Colombiana, NTC 176

Norma Técnica Colombiana, NTC 237

Norma Técnica Colombiana, NTC 92

Norma Técnica Colombiana, NTC 127

Norma Técnica Colombiana, NTC 3760

Emilia virginia pontacq alfonso. (septiembre, 2016). Evaluación de una técnica colorimétrica alternativa para la cuantificación de materia orgánica en agregados finos para concreto, basada en la norma coguanor ntg-41010 h4 (astm c40-04)

Pigmentacion de morteros y hormigones. (2013). Revista Cemento Hormigón. , 16-17. Sika.
(2012). Manual del Hormigón Sika. Construcción, 1-152.

Kolorjet Chemicals. *Pigmentos de Óxido de Hierro Natural* (2016).

Curo Gala, Nelson Omar (2017). Obtención de hematita Hierro, Esmalte de cerámicas

9. ANEXO

$$\% Resistencia = \frac{Esfuerzo (Mpa)}{Resistencia Especificaca (Mpa)} * 100 \quad (9)$$

De acuerdo a la ecuación (9) se obtiene el % Resistencia para un mortero sin adición de pigmento con una edad de curado de 3 días

$$\% Resistencia = \frac{7,8(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 44\%$$

$$\% Resistencia = \frac{7,9(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 45\%$$

$$\% Resistencia = \frac{7,6(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 43\%$$

Para el % Resistencia para un mortero sin adición de pigmento con una edad de curado de 7 días

$$\% Resistencia = \frac{12,6(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 72\%$$

$$\% Resistencia = \frac{12,5(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 71\%$$

$$\% Resistencia = \frac{12,4(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 70\%$$

De acuerdo a el % Resistencia para un mortero sin adición de pigmento con una edad de curado de 28 días

$$\% Resistencia = \frac{18,0(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 103\%$$

$$\% Resistencia = \frac{17,8(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 102\%$$

$$\% Resistencia = \frac{18,4(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 105\%$$

De acuerdo a la ecuación (9) se obtiene el % Resistencia para un mortero con adición de pigmento Óxido de hierro con una edad de curado de 3 días

$$\% Resistencia = \frac{7,8(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 44\%$$

$$\% Resistencia = \frac{7,5(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 43\%$$

$$\% Resistencia = \frac{8,0(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 46\%$$

Para el % Resistencia para un mortero con adición de pigmento Óxido de hierro con una edad de curado de 7 días

$$\% Resistencia = \frac{12,6(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 72\%$$

$$\% Resistencia = \frac{12,4(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 71\%$$

$$\% Resistencia = \frac{12,8(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 73\%$$

De acuerdo a el % Resistencia para un mortero con una adición de pigmento Óxido de hierro con una edad de curado de 28 días

$$\% Resistencia = \frac{17,7(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 101\%$$

$$\% Resistencia = \frac{17,8(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 102\%$$

$$\% Resistencia = \frac{17,8(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 102\%$$

De acuerdo a la ecuación (9) se obtiene el % Resistencia para un mortero con adición de pigmento sintético con una edad de curado de 3 días

$$\% Resistencia = \frac{8,4(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 48\%$$

$$\% Resistencia = \frac{8,0(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 46\%$$

$$\% Resistencia = \frac{8,3(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 47\%$$

Para el % Resistencia para un mortero con adición de pigmento sintético con una edad de curado de 7 días

$$\% Resistencia = \frac{12,0(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 69\%$$

$$\% Resistencia = \frac{12,4(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 71\%$$

$$\% Resistencia = \frac{12,1(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 69\%$$

De acuerdo a el % Resistencia para un mortero con adición de pigmento sintético con una

edad de curado de 28 días

$$\% Resistencia = \frac{17,7(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 101\%$$

$$\% Resistencia = \frac{18,1(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 103\%$$

$$\% Resistencia = \frac{18,1(Mpa)}{17,5(Mpa)} * 100 = 103\%$$

